

HELLENCRIS CASSIN ROCHA

**Influência da condição sexual de bovinos cruzados sobre a
deposição de gordura e tecido conjuntivo intramuscular,
degradação miofibrilar e maciez da carne**

Pirassununga

2023

HELLENCRIS CASSIN ROCHA

Influência da condição sexual de bovinos cruzados sobre a deposição de gordura e tecido conjuntivo intramuscular, degradação miofibrilar e maciez da carne

VERSÃO CORRIGIDA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Departamento:

Nutrição e Produção Animal

Área de concentração:

Nutrição e Produção Animal

Orientador:

Profa. Dra. Angélica Simone Cravo Pereira

Pirassununga
2023

Autorizo a reprodução parcial ou total desta obra, para fins acadêmicos, desde que citada a fonte.

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

(Biblioteca Virginie Buff D'Ápice da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo)

4285
FMVZ

Rocha, Hellenris Cassin

Influência da condição sexual de bovinos cruzados sobre a deposição de gordura e tecido conjuntivo intramuscular, degradação miofibrilar e maciez da carne / Hellenris Cassin Rocha. – 2023.

109 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Departamento de Nutrição e Produção Animal, Pirassununga, 2023.

Programa de Pós-Graduação: Nutrição e Produção Animal.

Área de concentração: Nutrição e Produção Animal.

Orientadora: Profa. Dra. Angélica Simone Cravo Pereira.

1. Colágeno. 2. Força de cisalhamento. 3. Maturação. 4. Proteólise muscular. 5. Tipo de músculo. I. Título.



Comissão de Ética no Uso de Animais
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia
Universidade de São Paulo

CERTIFIED

We certify that the Research "INFLUENCE OF THE SEXUAL CONDITION OF CROSSED CATTLE ON THE DEPOSITION OF FAT AND INTRAMUSCULAR CONNECTIVE TISSUE, MYOFIBRILLARY DEGRADATION AND MEAT TENDERNESS", protocol number CEUAX 8761110220 (00 001383), under the responsibility Angélica Simone Cravo Pereira, agree with Ethical Principles in Animal Research adopted by Ethic Committee in the Use of Animals of School of Veterinary Medicine and Animal Science (University of São Paulo), and was approved in the meeting of day April 29, 2020.

Certificamos que o protocolo do Projeto de Pesquisa intitulado "INFLUÊNCIA DA CONDIÇÃO SEXUAL DE BOVINOS CRUZADOS SOBRE A DEPOSIÇÃO DE GORDURA E TECIDO CONJUNTIVO INTRAMUSCULAR, DEGRADAÇÃO MIOFIBRILAR E MACIEZ DA CARNE ", protocolado sob o CEUAX nº 8761110220, sob a responsabilidade de Angélica Simone Cravo Pereira, está de acordo com os princípios éticos de experimentação animal da Comissão de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo, e foi aprovado na reunião de 29 de abril de 2020.

Prof. Dr. Marcelo Bahia Labruna
Coordenador da Comissão de Ética no Uso de Animais
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade
de São Paulo

Camilla Mota Mendes
Vice-Coordenadora da Comissão de Ética no Uso de Animais
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade
de São Paulo

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Autor: ROCHA, Hellencris Cassin.

Título: **Influência da condição sexual de bovinos cruzados sobre a deposição de gordura e tecido conjuntivo intramuscular, degradação miofibrilar e maciez da carne**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Data: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____
Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr. _____
Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr. _____
Instituição: _____ Julgamento: _____

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que me incentivaram, encorajaram e me ajudaram a acreditar no meu potencial para chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Cecília Fortini Cassin e Sebastião Rocha, os maiores incentivadores e apoiadores de todos os meus sonhos e objetivos. Tudo o que se concretizou até hoje em minha vida, foi graças a vocês! Vocês são a base de tudo! Sou uma pessoa de muita sorte por tê-los como meus pais!

À Profe Angélica, por ter aberto as portas de seus laboratórios e depositado em mim a confiança para integrar sua equipe e conduzir um projeto de mestrado, e por toda a orientação, paciência e parceria. A todos os outros integrantes da equipe, pós-graduandos, estagiários e funcionários, agradeço por toda a ajuda e incentivo que recebi e por todos os laços de amizade criados. Agradeço especialmente à Polly, e nunca me canso de dizer o quão sortudo é quem tem uma Polly em sua vida!

Agradeço também ao Julian, que durante a maior parte do meu trajeto na pós-graduação, foi meu amigo, parceiro, psicólogo e orientador! Ao Schmidt, que é um profissional sem igual e o melhor professor que eu conheço! E tem ainda o dom de deixar qualquer dia de vida muito mais feliz! Aos demais colegas de pós-graduação e estagiários que passaram pelos laboratórios durante esse período, agradeço pelas trocas de conhecimento, apoio, palavras amigas, momentos de diversão e pela oportunidade de ter feito parte do trajeto de cada um.

À minha segunda família, República Malibu, que me sustentou nos piores dias e fizeram dos melhores, ainda mais felizes! Audria, Tamires, Lava, Poka, Kumun, Baby, Lentinha, Potrinha, Zu, Kitéria, Mutante e Chris (e agregadas também), são nomes que sempre terão um cantinho no meu coração. Agradeço também às pessoas incríveis que conheci através de vocês. Eu realmente não me imagino vivendo de outra forma ao longo desse tempo sem ser ao lado de vocês, obrigada por tudo!

Agradeço aos colegas de pós-graduação de outros laboratórios e aos Professores que se dispuseram a elucidar minhas dúvidas e auxiliar na realização das análises laboratoriais.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Produção Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização do Mestrado, e ao Laboratório de Ciência da Carne e

Laboratório de Pesquisa em Gado de Corte, por todo o aprendizado e desenvolvimento pessoal e profissional.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Agradeço à CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para que esse trabalho fosse realizado. A todos vocês, meu muito obrigada!

RESUMO

ROCHA, H. C. **Influência da condição sexual de bovinos cruzados sobre a deposição de gordura e tecido conjuntivo intramuscular, degradação miofibrilar e maciez da carne.** 2023. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2023.

As diferenças fisiológicas entre bovinos fêmeas, machos castrados e machos não castrados podem afetar a qualidade da carne por modularem as proporções dos tecidos pelos quais ela é composta e o metabolismo *post mortem* em diferentes músculos, bem como se relacionar com as alterações estruturais ocorridas no músculo durante o processo de maturação. Portanto, os objetivos deste estudo foram: 1) avaliar como a condição sexual de bovinos influencia a deposição de tecido conjuntivo intramuscular, gordura intramuscular, degradação miofibrilar e maciez da carne nos músculos *Longissimus thoracis* e *Triceps brachii* e 2) avaliar se a condição sexual de bovinos influencia a degradação miofibrilar, a solubilização do colágeno intramuscular e o amaciamento da carne durante o processo de maturação. O material experimental foi composto por 102 bovinos Angus x Nelore fêmeas (F) (n=34), machos castrados (MC) (n=34) e machos não castrados (MNC) (n=34). Os animais, pertencentes ao mesmo grupo contemporâneo, foram confinados e mantidos sob as mesmas condições de manejo e dieta por 150 dias, e abatidos aos 16 meses de idade. Durante a desossa, amostras dos músculos *Longissimus thoracis* (LT) e *Triceps brachii* (TB) foram coletadas para as análises de pH, força de cisalhamento, perdas por cozimento, perfil de colágeno, lipídios totais e índice de fragmentação miofibrilar. Ainda, amostras do músculo *Longissimus thoracis* foram coletadas e maturadas, sob temperatura entre 0 e 2°C, durante dois e quatorze dias, para as análises de força de cisalhamento, perdas por cozimento, perfil de colágeno e índice de fragmentação miofibrilar. A condição sexual e o tipo de músculo influenciaram a deposição de tecido conjuntivo intramuscular. No entanto, o perfil de colágeno pode não ser um bom preditor para a maciez da carne, uma vez que MNC apresentaram maior porcentagem de solubilidade e, carne mais dura, em comparação às F e MC, enquanto TB apresentou maior teor de colágeno total e menor percentual de solubilidade. Sem diferenças do LT quanto à força de cisalhamento. F e MC apresentaram carne mais macia, avaliada pela força de cisalhamento, maior teor de gordura intramuscular e maior taxa de degradação miofibrilar, respectivamente. A condição sexual influenciou

o perfil de colágeno intramuscular, a degradação miofibrilar e o amaciamento da carne durante o processo de maturação, em que MC e F apresentaram maior taxa de degradação miofibrilar e carne mais macia após 14 dias de maturação. Porém, as variações no perfil de colágeno não foram capazes de explicar completamente as diferenças na maciez da carne entre as categorias e a maturação não influenciou a solubilização do colágeno intramuscular. Conclui-se que o tipo de músculo avaliado exerce pouca influência sobre as características de qualidade da carne de bovinos jovens cruzados Angus x Nelore. Ademais, fêmeas e machos castrados produzem carne mais macia em relação aos machos não castrados, especialmente quando maturada e apresentam características de qualidade de carne desejáveis, como maior deposição de gordura intramuscular e maior taxa de degradação miofibrilar durante o processo de maturação, respectivamente.

Palavras-chave: Colágeno. Força de cisalhamento. Maturação. Proteólise muscular.
Tipo de músculo.

ABSTRACT

ROCHA, H. C. **Influence of the gender status of crossbred cattle on the deposition of fat and intramuscular connective tissue, myofibrillar degradation and beef tenderness.** 2023. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2023.

The physiological differences between heifers, steers and bulls can affect the beef quality by modulating the proportions of the tissues by which it is composed and *post mortem* metabolism in different muscles, as well as relating to the structural changes that occur in the muscle during the aging process. Therefore, this study aimed: 1) to evaluate how the gender status cattle influences the deposition of intramuscular connective tissue, intramuscular fat, myofibrillar degradation and beef tenderness in *Longissimus thoracis* and *Triceps brachii* muscles and 2) to evaluate whether gender status cattle influences myofibrillar degradation, intramuscular collagen solubilization and beef tenderization during aging process. The experimental material comprised 102 Angus x Nelore cattle heifers (n=34), steers (n=34) and bulls (n=34). The animals, from the same contemporary group, were confined and kept under the same conditions of management and diet for 150 days, and slaughtered at 16 months. During boning, samples of the *Longissimus thoracis* (LT) and *Triceps brachii* (TB) muscles were collected for the pH, cooking losses, shear force, collagen profile, total lipids and myofibrillar fragmentation index analysis. Also, samples of the *Longissimus thoracis* muscle were collected and aged at temperatures between 0 and 2 °C, during two and fourteen days, for the cooking losses, shear force, collagen profile and myofibrillar fragmentation index analysis. Gender status and muscle type influenced the deposition of intramuscular connective tissue, however, the collagen profile may not be a good predictor for beef tenderness, since MNC had a higher percentage of solubility and also tougher meat compared to F and MC, while TB had a higher total collagen content and a lower percentage of solubility, however, it did not differ from LT in terms of shear force. F and MC had tender meat, measured by shear force, higher intramuscular fat content and higher myofibrillar degradation, respectively. Gender status influenced the profile of intramuscular collagen, myofibrillar degradation and beef tenderization during aging process, in which MC and F had a higher myofibrillar degradation and beef tenderness after the fourteen days aging period, however, variations in collagen profile were not able to fully explain differences in beef tenderness between categories, and aging did not influence intramuscular collagen solubilization. In conclusion, the muscle

type evaluated exerts low influence on the meat quality traits of young crossbred Angus x Nellore cattle. Furthermore, heifers and steers produce tender meat compared to bulls, especially when aged, and have favorable characteristics for this and other quality traits, such as higher intramuscular fat deposition and a higher myofibrillar degradation during the aging process, respectively.

Keywords: Collagen. Shear force. Aging. Muscle proteolysis. Muscle type.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Grupo experimental de bovinos cruzados Angus X Nelore em confinamento comercial.....	55
Figura 2 - Grupo experimental de bovinos cruzados Angus X Nelore em confinamento comercial.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição percentual das dietas na matéria seca.....	57
Tabela 2 - Força de cisalhamento, perdas de peso por cocção e pH dos músculos <i>Triceps brachii</i> e <i>Longissimus thoracis</i> de bovinos Angus x Nelore de diferentes condições sexuais (F, MC e MNC) terminados em confinamento.....	66
Tabela 3 - Quantificação de colágeno total, solúvel e insolúvel nos músculos <i>Triceps brachii</i> e <i>Longissimus thoracis</i> de bovinos Angus x Nelore de diferentes condições sexuais (F, MC e MNC) terminados em confinamento.....	70
Tabela 4 - Quantificação de lipídios totais nos músculos <i>Triceps brachii</i> e <i>Longissimus thoracis</i> de bovinos Angus x Nelore de diferentes condições sexuais (F, MC e MNC) terminados em confinamento.....	73
Tabela 5 - Índice de fragmentação miofibrilar dos músculos <i>Triceps brachii</i> e <i>Longissimus thoracis</i> de bovinos Angus x Nelore de diferentes condições sexuais (F, MC e MNC) terminados em confinamento.....	75
Tabela 6 - Composição percentual das dietas na matéria seca.....	92
Tabela 7 - Força de cisalhamento e perdas de peso por cocção do músculo <i>Longissimus thoracis</i> de bovinos Angus x Nelore de diferentes condições sexuais (F, MC e MNC) terminados em confinamento maturado por dois e quatorze dias.....	97
Tabela 8 - Quantificação de colágeno total, solúvel e insolúvel do músculo <i>Longissimus thoracis</i> de bovinos Angus x Nelore de diferentes condições sexuais (F, MC e MNC) terminados em confinamento maturado por dois e quatorze dias.....	101
Tabela 9 - Índice de fragmentação miofibrilar do músculo <i>Longissimus thoracis</i> de bovinos Angus x Nelore de diferentes condições sexuais (F, MC e MNC) terminados em confinamento maturado por dois e quatorze dias.....	103

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	16
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1 QUALIDADE DA CARNE.....	19
2.2 ESTRATÉGIAS PARA APRIMORAR A PRODUÇÃO DE CARNE.....	19
2.2.1 Cruzamento industrial de bovinos de corte.....	19
2.2.2 Abate de animais jovens.....	21
2.2.3 Terminação em confinamento.....	22
2.3 CONDIÇÃO SEXUAL E QUALIDADE DA CARNE BOVINA.....	23
2.4 ESTRUTURA MUSCULAR E COMPOSIÇÃO DA CARNE.....	25
2.4.1 Maciez da carne bovina.....	28
2.4.2 Fibra muscular e degradação miofibrilar.....	29
2.4.3 Tecido conjuntivo intramuscular.....	32
2.4.4 Gordura intramuscular.....	35
REFERÊNCIAS.....	37

CAPÍTULO 2

EFEITO DA CONDIÇÃO SEXUAL E DO TIPO DE MÚSCULO DE BOVINOS CRUZADOS SOBRE A DEPOSIÇÃO DE TECIDO CONJUNTIVO E GORDURA INTRAMUSCULAR, DEGRADAÇÃO MIOFIBRILAR E MACIEZ DA CARNE.....	51
1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	53
2 OBJETIVOS.....	54
2.1 Objetivo geral.....	54
2.2 Objetivos específicos.....	54
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	55
3.3.1 Instalações, manejo dos animais e dietas.....	55
3.3.2 Abate, desossa e coleta de amostras.....	57
3.3.3 pH.....	58
3.3.4 Força de cisalhamento.....	58
3.3.5 Perdas de peso por cocção.....	59
3.3.6 Colágeno total, solúvel e insolúvel.....	59
3.3.7 Lipídios totais.....	60
3.3.8 Índice de fragmentação miofibrilar.....	61

3.3.9 Análise estatística	61
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
5 CONCLUSÃO	75
6 IMPLICAÇÕES	75
REFERÊNCIAS	77
CAPÍTULO 3	
A CONDIÇÃO SEXUAL DE BOVINOS DE CORTE INFLUENCIA A SOLUBILIZAÇÃO DO COLÁGENO INTRAMUSCULAR, A DEGRADAÇÃO MIOFIBRILAR E O AMACIAMENTO DA CARNE DURANTE O PROCESSO DE MATURAÇÃO	
1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	88
2 MATERIAL E MÉTODOS	90
2.1 Animais, manejo e dietas	90
2.2 Abate, desossa e coleta de amostras	92
2.3 Força de cisalhamento	93
2.4 Perdas de peso por cocção	94
2.5 Colágeno total, solúvel e insolúvel	94
2.6 Índice de fragmentação miofibrilar	95
2.7 Análise estatística	95
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	96
4 CONCLUSÃO	104
5 IMPLICAÇÕES	104
REFERÊNCIA	105

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é um país essencialmente agropecuário, detentor do maior rebanho comercial de bovinos do mundo, contando atualmente com cerca de 196,47 milhões de cabeças, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). Além disso, o Brasil é, atualmente, o segundo maior produtor de carne bovina do mundo, produzindo 9,32 milhões de toneladas em 2021, e o maior exportador mundial, segundo o United States Department of Agriculture (USDA, 2022). A demanda por proteína animal é condicionada pelo aumento da população mundial, onde são ainda constantes as alterações no perfil dos consumidores de carne.

Nesse contexto, têm-se buscado por estratégias que propiciem incremento na produtividade do rebanho e que contribuam para a obtenção de carne que atenda aos diferentes padrões de qualidade, como o uso de cruzamentos, em que o objetivo é de associar as características desejáveis de diferentes raças bovinas; o uso de diferentes condições sexuais, explorando as características fisiológicas de bovinos machos, fêmeas e animais castrados, que podem implicar em variações nas características de qualidade da carne; a manipulação de dietas e otimização das fases de cria, recria e engorda e, ainda, o emprego de métodos tecnológicos na carcaça e na carne que visam melhorar as propriedades sensoriais do produto final.

Além disso, é constante a busca pela compreensão dos mecanismos biológicos que afetam as principais características de qualidade da carne, como eles interagem entre si e com as variáveis relacionadas à produção dos animais e processamento de seus produtos, visando a combinação destes fatores para a obtenção de produtos com padrão de qualidade diferenciado.

Dentre os atributos de qualidade, a maciez da carne é um dos principais responsáveis pela satisfação do consumidor (MALHEIROS et al., 2019). Sabe-se que esta característica pode ser afetada por diversos fatores, entre eles, a raça, condição sexual, idade ao abate, sistema de produção, alimentação, propriedades intrínsecas dos músculos e formas de processamento e até mesmo de preparo da carne. Entretanto, a associação entre alguns destes fatores e sua relação com a qualidade do produto final, ainda não são completamente elucidados.

Um fator importante, que pode comprometer a qualidade da carne bovina, é a condição sexual dos bovinos de corte. Machos não castrados apresentam, em geral,

melhor desempenho, crescimento mais rápido e maior rendimento de carcaça, com maior deposição de tecido muscular em relação às fêmeas e aos machos castrados (SEIDEMAN et al., 1982; FRITSCHKE; STEINHART, 1998). Entretanto, machos não castrados produzem carne com alguns atributos inferiores, como pior maciez e menor deposição de gordura subcutânea e intramuscular (marmorização) (MUELLER, 2019). Por outro lado, fêmeas e machos castrados, embora apresentem menor ganho de peso corporal quando comparados aos machos inteiros, apresentam, em geral, maior deposição de gordura subcutânea e intramuscular e produzem carne mais macia, favorecendo a padronização e a qualidade da carcaça (BERG; BUTTERFIELD, 1976).

Tendo em vista a carne ser composta por diferentes tecidos, a variação de qualidade quanto à maciez, entre outros aspectos, pode ocorrer em função do tipo e localização anatômica dos músculos, uma vez que a proporção destes tecidos varia entre eles (GOMIDE et al., 2013). Ainda, grupos musculares distintos possuem também diferenças em seu metabolismo pré e pós abate, que podem afetar os processos enzimáticos ocorridos no músculo até sua obtenção como carne.

Além da condição sexual e tipo de músculo, outro fator que pode determinar uma maior ou menor qualidade da carne, no que diz respeito a seus atributos sensoriais, é o emprego de métodos tecnológicos que visam melhorar algumas de suas propriedades, como a maturação, que promove alterações significativas na microestrutura do músculo levando à maior maciez e suculência. A eficiência do processo de maturação, por sua vez, pode ser influenciada por fatores que afetam o metabolismo muscular pré e pós abate, como a condição sexual dos animais.

Haja vista ser conhecida a influência da condição sexual dos bovinos para as características de carcaça e qualidade da carne, bem como as contribuições dos componentes musculares e do processo de maturação para a maciez da carne, são necessários mais estudos acerca da relação entre estes fatores e como as interações entre eles afetam a qualidade do produto final. Ressalta-se também a importância de mais estudos, avaliando as diferentes condições sexuais de bovinos cruzados (*Bos taurus* x *Bos indicus*), visto que o abate de animais provenientes de cruzamentos tem sido relevante nos últimos anos no Brasil, em função da demanda de consumidores por produtos diferenciados ou nichos de mercado especiais. No entanto, não há informações sobre como a condição sexual influencia a composição muscular e o amaciamento da carne durante o processo de maturação nestes animais. Não obstante, ainda há falta de padronização em relação a alguns atributos de qualidade.

Neste sentido, nosso propósito é esclarecer a contribuição de atributos, influenciados pela condição sexual de bovinos cruzados para a maciez da carne.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 QUALIDADE DA CARNE

O conceito de qualidade é muito amplo, segundo Felício (1993), um produto de qualidade pode ser caracterizado como aquele que atende às expectativas dos consumidores quanto às suas propriedades visuais, nutricionais, sensoriais, sanitárias e, quanto ao valor a ser pago, podendo esse conceito, portanto, variar conforme o tipo de mercado que se deseja atender.

Os critérios de avaliação da qualidade da carcaça e da carne de bovinos vêm sofrendo mudanças significativas nos últimos anos, com o foco passando do produtor e características avaliadas no animal (como peso e rendimento de carcaça) para o consumidor, com características avaliadas na própria carne, como os aspectos sensoriais, visto que a consolidação da cadeia produtiva depende da compreensão dos atributos preferidos pelo consumidor (OSÓRIO et al., 2012).

As principais características sensoriais da carne são a cor, textura, suculência, sabor, odor e maciez, e estas podem ser influenciadas por diversos fatores que se inter-relacionam dentro da cadeia produtiva, desde a concepção do animal até a obtenção do produto final (LUCHIARI FILHO, 2000), tais como a genética, sexo, manejo alimentar, sistema de produção, idade ao abate, manejo pré-abate, métodos de processamento da carcaça e da carne, fatores intrínsecos aos músculos e ao metabolismo animal e, até mesmo, o modo de preparo do alimento.

Nesse sentido, é constante a busca pela compreensão dos aspectos que podem influenciar a qualidade da carne bem como a busca por meios de aprimorar a sua produção, controlando os diversos fatores que afetam a sua qualidade, para a obtenção de um produto que atenda às expectativas de diferentes nichos de mercado e que seja economicamente viável.

2.2 ESTRATÉGIAS PARA APRIMORAR A PRODUÇÃO DE CARNE

2.2.1 Cruzamento industrial de bovinos de corte

A produção de gado de corte no Brasil tem como base a utilização de gado zebuino (*Bos indicus*) (RODRIGUES et al., 2017), principalmente da raça Nelore (FERRAZ; FELÍCIO, 2010), a qual é adequada para a produção de carne em quantidade e com custo relativamente baixo, devido às suas baixas exigências de manejo (CUNDIFF, 2004). Os animais zebuínos, em geral, apresentam maior rusticidade, tolerância às condições climáticas tropicais e resistência aos

ectoparasitas, quando comparados aos taurinos (*Bos taurus*), que apresentam menor adaptabilidade nestas condições (BIANCHINI et al., 2007; CARVALHO et al., 2014).

Todavia, animais taurinos apresentam, em geral, maior precocidade, enquanto os zebuínos são, geralmente, abatidos com idade mais elevada. Além disso, em relação às propriedades sensoriais da carne, *Bos indicus* apresentam, em geral, atributos de qualidade da carne considerados inferiores, como menor deposição de gordura subcutânea e intramuscular, implicando em falta de padronização no acabamento da carcaça e menor escore de marmorização, quando comparados às raças européias (CROUSE et al., 1989; JOHNSON et al., 1990; PEREIRA et al., 2015; SHERBECK et al., 1995). Ainda, animais zebuínos podem apresentar carne com maior força de cisalhamento, a qual pode ser atribuída à maior concentração de calpastatina, que atua como inibidor da calpaína, enzima responsável pela proteólise do tecido muscular e amaciamento da carne (ALVES et al., 2005). Além disso, o temperamento mais agressivo característico de animais zebuínos, torna estes animais mais suscetíveis ao estresse, inclusive, no manejo pré-abate, alterando a qualidade da carne.

Diante disso, o uso de cruzamentos industriais bem delineados entre *Bos taurus* e *Bos indicus* constitui uma estratégia para promover a complementaridade das características e a obtenção de um produto resultante das vantagens de ambos (HUFFMAN et al., 1990; LAGE et al., 2012; MODZELEWSKA-KAPITUŁA; NOGALSKI, 2014).

De acordo com a Associação Brasileira de Inseminação Artificial (ASBIA, 2022) o cruzamento entre as raças Nelore e Aberdeen Angus é um dos mais utilizados atualmente no Brasil. Conforme dados divulgados pela Associação em seu relatório anual, no ano de 2021 houve um crescimento de 68,7% no número de doses de sêmen coletadas de bovinos de corte. Foram 21.146.794 doses, contra 12.536.601 do ano anterior (2020), sendo o maior resultado desde 2018.

Ainda de acordo com a Associação (ASBIA, 2022), em relação ao sêmen da raça Angus, nota-se um aumento de 36,68% na comercialização do sêmen de touros desta raça produzidos em território nacional no primeiro semestre de 2021. Estes dados evidenciam a valorização da genética Angus produzida no Brasil, uma vez que 28,21% do montante de sêmen Angus comercializado no país neste período, refere-se às doses de sêmen de reprodutores coletadas no país. Desta forma, há um

aumento da procura pela raça Angus, a qual está sendo muito utilizada em programas de melhoramento genético por todo país com animais da raça Nelore.

2.2.2 Abate de animais jovens

O abate de animais jovens caracteriza-se como uma das principais estratégias adotadas para a produção de carne bovina com maior constância de qualidade, destacando a importância da produção de animais precoces para a produção de carne macia. A precocidade na bovinocultura de corte pode ser definida como a velocidade em que o animal atinge a puberdade, momento onde o crescimento ósseo é interrompido, a taxa de crescimento muscular é reduzida e o enchimento dos adipócitos é intensificado, ocorrendo deposição de gordura na carcaça. Este conceito é utilizado para denotar animais que atingem composição corporal da carcaça adequada ao abate à uma idade jovem, sendo estimada pela espessura de gordura subcutânea (BERG; BUTTERFIELD, 1976).

Bovinos jovens apresentam, geralmente, carne mais macia em relação àqueles abatidos com idade mais elevada, uma vez que, nestes animais, o colágeno recém-sintetizado apresenta particularmente ligações cruzadas do tipo divalentes, que são solúveis em altas temperaturas. Com o aumento da idade do animal, estas ligações tornam-se trivalentes e estáveis às temperaturas elevadas, de forma que a redução da solubilidade do colágeno intramuscular, que se torna termoestável devido à presença de ligações cruzadas maduras, provoca a diminuição da maciez da carne (LATORRE et al., 2017).

Com o avançar da idade, a carcaça apresenta maior porcentagem de gordura, desta forma, a idade em que o animal é abatido influencia a composição da carcaça por afetar a relação osso/carne/gordura (WARRIS, 2000). Segundo Berg e Butterfield (1976), o músculo é a fração mais importante da carcaça se considerada sua maior procura pelo consumidor, de modo que uma boa carcaça deve conter grande quantidade de músculo, pequena de osso e uma quantidade de gordura que varia de acordo com a preferência do consumidor.

Todavia, deve-se salientar que a quantidade de gordura na carcaça é de importância tecnológica, uma vez que a gordura subcutânea (gordura de acabamento) garante a ela proteção térmica nas câmaras de resfriamento, com declínio gradual da temperatura, prevenindo o encurtamento dos sarcômeros (fenômeno conhecido como *'cold shortening'*). Além disso, o escore de marmorização, definido pela quantidade de

gordura depositada entre as fibras musculares, por sua vez, garante à carne mais suculência, aroma, sabor e maciez (MÜLLER, 1987).

Contudo, uma vez que a gordura, especialmente a intramuscular, se caracteriza como o último tecido a ser depositado no corpo do animal (BERG; BUTTERFIELD, 1976), reduzir a idade de abate e ao mesmo tempo garantir aos animais o acabamento adequado, além da seleção de animais precoces, requer maior nível alimentar, com maior concentração de nutrientes na dieta (RESTLE; VAZ, 1997). A deposição de gordura na carcaça correlaciona-se positivamente com a densidade energética da dieta onde, uma vez atendidas as exigências de manutenção, crescimento dos órgãos e dos tecidos, o excedente de energia consumida é depositado sob a forma de gordura (MENEZES et al., 2014).

2.2.3 Terminação em confinamento

A terminação em confinamento é uma estratégia para o ganho de peso de abate e adequada conformação de carcaça em bovinos jovens. Animais que são terminados em pasto podem passar por períodos de seca e de subnutrição, enfrentando maiores desafios para se alimentar, de forma que para alcançar o peso de abate podem levar mais tempo quando comparados aos animais confinados, que têm fornecimento de alimento para suprir a demanda da manutenção e ganho de peso durante todo o período (RESTLE; VAZ, 2003).

A terminação em confinamento permite ao pecuarista superar algumas dificuldades que estão associadas à estacionalidade da produção forrageira, por meio da possibilidade de retirar os animais mais pesados do pasto, durante o período de seca, tendo em vista suas elevadas exigências nutricionais. Bovinos terminados em confinamento recebem um maior aporte energético devido a dietas ricas em concentrado em detrimento ao volumoso, onde o excedente de energia consumida, após supridas as demandas do animal, é depositado sob a forma de gordura na carcaça e na carne (MENEZES et al., 2014).

As carcaças de bovinos terminados em confinamento, em geral, quando comparados bovinos de mesma raça e idades semelhantes submetidos a ambos os sistemas de terminação, apresentam maior rendimento, grau de acabamento e escore de marmorização em relação aos terminados em pasto (MACEDO et al., 2001). Em adição, de acordo com Batistelli et al. (2022), bovinos terminados a pasto apresentam,

geralmente, carcaças mais magras, com menor deposição de gordura subcutânea e intramuscular e carne com atributos inferiores em relação à cor e maciez.

Além disso, bovinos terminados em confinamento apresentam, em geral, carne mais macia, pois dietas com alta densidade energética promovem o rápido crescimento muscular e propiciam a formação de colágeno de maior solubilidade, aumentando a maciez da carne cozida (CROUSE et al., 1986). Além disso, Macedo et al. (2001) atribuíram a menor força de cisalhamento da carne de animais terminados em confinamento ao menor estresse pré-abate, uma vez que estes animais estão mais acostumados ao manejo e se estressam menos no manejo pré-abate do que animais terminados em pasto.

Nesse sentido, recomenda-se a utilização da terminação em confinamento especialmente no caso de bovinos cruzados, devido à sua demanda por dietas com alta energia, de forma a fornecer a estes animais as condições adequadas de manejo para expressarem o seu potencial genético para rápido ganho de peso, deposição de gordura e qualidade de carne (MIGUEL et al., 2014).

2.3 CONDIÇÃO SEXUAL E QUALIDADE DA CARNE BOVINA

O uso de diferentes condições sexuais de bovinos de corte constitui uma das formas de predizer a qualidade da carne produzida, uma vez que o dimorfismo sexual influencia o crescimento animal e o desenvolvimento dos tecidos corporais de forma distinta entre as categorias (ZHANG et al., 2010), de modo a afetar diretamente as características da carcaça e as propriedades sensoriais da carne (OWENS et al., 1993). Além do macho e da fêmea, tornou-se usual na produção de carne bovina a utilização de machos castrados, como forma de controlar o efeito da condição sexual sobre qualidade da carne produzida destes animais, sendo a castração cirúrgica a técnica mais comumente utilizada pelos produtores (XU et al., 2018).

De maneira geral, os bovinos machos não castrados apresentam maior velocidade de crescimento, maior rendimento de carcaça e carne mais magra, devido a uma maior taxa anabólica de deposição de tecido muscular (FRITSCHÉ; STEINHART, 1998; SEIDEMAN et al., 1982). Devido à presença do hormônio testosterona, ocorre o aumento da atividade da calpastatina e redução da degradação proteica, o que favorece a deposição deste tecido. Entretanto, quando o animal é abatido, a alta concentração de calpastatina reduz a ação da calpaína, uma das principais enzimas responsáveis pela proteólise *post mortem* e amaciamento da carne

(WULF et al., 1996; O'CONNOR et al., 1997). Ainda, o maior *turnover* protéico responsável pelo crescimento muscular nesses animais, afeta também a deposição dos demais tecidos, como o tecido adiposo e o tecido conjuntivo intramuscular, o que também pode implicar em variações na qualidade da carne. Dessa forma, esta categoria apresenta, geralmente, carne com alguns atributos inferiores, como cor mais escura, pior maciez, menor deposição de gordura intramuscular e de gordura subcutânea na carcaça (ANDREO et al., 2013; MUELLER, 2019).

Nesse sentido, a castração de bovinos machos constitui uma das estratégias utilizadas para atender às demandas por produtos com qualidade diferenciada. A técnica visa reduzir a taxa metabólica basal e a energia de manutenção dos animais na fase de engorda, conferindo determinadas características à carcaça, como maior deposição de gordura subcutânea e intramuscular. Na produção de carne para nichos de mercado, muitos frigoríficos a exigem alegando que o procedimento favorece a uniformidade e a qualidade da carcaça, além da conservação e do aspecto qualitativo da carne (PEREIRA, 2014). Além disso, a castração apresenta como vantagem a maior facilidade e segurança no manejo em conjunto de machos e fêmeas, devido ao fato de reduzir a frequência de comportamentos sexuais e agressivos (os quais influenciam negativamente a qualidade da carne), além da redução de danos à carcaça e prejuízos econômicos advindos de contusões, colaborando também na promoção do bem-estar animal (PRICE et al., 2003).

Em relação às fêmeas bovinas, embora apresentem menor ganho de peso corporal quando comparadas aos machos, apresentam, em geral, maior deposição de gordura subcutânea e intramuscular (BERG; BUTTERFIELD, 1976; BONNY et al., 2016). As fêmeas apresentam genes favoráveis à deposição de gordura, e seu perfil hormonal influencia a proporção e distribuição dos ácidos graxos nos músculos (VENKATA et al., 2015). Bovinos machos apresentam crescimento muscular marcadamente influenciado por uma variedade de sinais hormonais, possuindo maior número de fibras musculares que as fêmeas no mesmo músculo; o aumento do número de fibras nos machos é regulado pela testosterona no início do processo de diferenciação celular fetal, já nas fêmeas, o hormônio atuante é o estradiol (LAWRENCE et al., 2002). O maior depósito de tecido adiposo, menor número e diâmetro das fibras musculares e, ainda, o menor teor de colágeno intramuscular (SEIDEMAN et al., 1989), fazem com que as fêmeas apresentem, geralmente, carne mais macia e com maior suculência (CHRIKI et al., 2012).

Em suma, fêmeas e machos castrados, embora apresentem menor ganho de peso corporal quando comparados aos machos não castrados, apresentam, em geral, maior deposição de gordura subcutânea e intramuscular quando abatidos em idades semelhantes, favorecendo a qualidade da carcaça e da carne (BERG; BUTTERFIELD, 1976). Ademais, quando comparados os machos castrados às fêmeas, estas apresentam carne mais macia, atributos sensoriais e escore de marmorização superiores (CHOAT et al., 2006; ZHANG et al., 2010), ao passo em que Purchas (1991) relatou que fêmeas atingem o ponto de abate mais cedo e com menor peso que os machos castrados que, por sua vez, terminam mais cedo e mais leves que machos não castrados.

2.4 ESTRUTURA MUSCULAR E COMPOSIÇÃO DA CARNE

A taxa de crescimento animal apresenta características alométricas, onde cada tecido corporal se desenvolve em uma velocidade diferente. O primeiro tecido a ser depositado é o nervoso, seguido do tecido ósseo, muscular e adiposo (BERG; BUTTERFIELD 1976; OWENS et al. 1993). A carne é constituída pelos tecidos adiposo, epiteliais, conjuntivo e nervoso, embora o componente principal seja o muscular (JOO et al., 2013); conseqüentemente, a variação de qualidade da carne pode ocorrer em função do tipo e localização anatômica dos músculos, uma vez que a quantidade desses tecidos varia entre eles (GOMIDE et al., 2013).

Em relação à composição química da carne, em termos gerais, esta corresponde a aproximadamente 75% de água, 20% de proteína, 3% de substâncias como carboidratos, vitaminas e minerais e 2% de gordura. As proteínas da carne são divididas em três grupos: miofibrilares, que constituem entre 50 a 55% do conteúdo total de proteína (miosina, troponina e actina); sarcoplasmáticas, que constituem entre 30 e 34% (mioglobina, hemoglobina, globulinas) e do tecido conjuntivo, que representam de 10 a 15% do total de proteínas musculares (colágeno, elastina e reticulina) (LAWRIE, 2006). Dentre estas, as proteínas miofibrilares e do tecido conjuntivo são consideradas fatores determinantes da textura da carne (TORNBERG, 2005).

A unidade estrutural essencial de todos os músculos é a fibra. A fase de hiperplasia das fibras musculares nos mamíferos ocorre durante a vida intrauterina, e o número de fibras é fixado por ocasião do parto. Sendo assim, o crescimento pós-natal da massa muscular ocorre por meio da hipertrofia das fibras pré-existentes

(PICARD et al., 2002). As fibras musculares são agrupadas paralelamente, formando feixes, que se associam de vários modos para formar os diversos tipos de músculos. As fibras musculares individuais, os feixes e o músculo como um todo são recobertos pelo tecido conjuntivo, que forma uma rede contínua atuando como tecido de sustentação, apresentando-se em três níveis hierárquicos: endomísio, que envolve individualmente cada fibra muscular; perimísio, que envolve os feixes de fibras musculares; e epimísio, que envolve todo o músculo. As fibras nervosas e os vasos sanguíneos que irrigam o músculo esquelético acompanham os septos de tecido conjuntivo a partir do epimísio e se ramificam até atingir cada fibra muscular, e a gordura intramuscular, que proporciona a marmorização da carne, é depositada junto ao perimísio, próxima aos vasos sanguíneos (NISHIMURA, 2015).

No processo de conversão do músculo em carne, após o abate e interrupção do aporte de oxigênio e nutrientes ao organismo, o metabolismo anaeróbico se inicia a fim de fornecer energia para a manutenção da função celular. A glicólise anaeróbica utiliza o glicogênio armazenado no músculo para produzir lactato, que contribui para o declínio do pH (SILVA et al., 1999). Por esta razão, músculos compostos por fibras de metabolismo oxidativo apresentam, normalmente, pH final mais elevado, devido ao baixo conteúdo de glicogênio, enquanto músculos compostos por fibras de metabolismo glicolítico e que possuem elevado estoque de glicogênio, apresentam pH final mais baixo (FRYLINCK et al., 2013).

A proporção dos tipos de fibras musculares, a velocidade do declínio do pH e a temperatura da carcaça afetam os processos bioquímicos *post mortem* e a qualidade da carne. Segundo Zerouala (1991), a maior proporção de fibras oxidativas pode estar associada à carne escura, firme, e com pH elevado (DFD), resultante de uma glicólise insuficiente, o que frequentemente se deve ao esgotamento do glicogênio associado ao estresse pré-abate. Ademais, o rápido declínio do pH com a temperatura da carcaça ainda alta, pode levar à desnaturação de proteínas e redução da capacidade da carne em reter água, resultando na carne pálida, mole e exsudativa (PSE), sendo a ocorrência desta menos comum em bovinos. Já em relação à proteólise *post mortem*, de acordo com Joo et al. (2013), fibras glicolíticas são mais suscetíveis do que fibras oxidativas, o que confere maior maciez aos músculos compostos predominantemente por fibras de metabolismo glicolítico.

Ainda segundo Joo et al. (2013), verificam-se diferenças nos tipos de fibras musculares ao se comparar músculos das regiões do dianteiro e do traseiro de

bovinos, uma vez que na região do dianteiro há maior quantidade de músculos de tração e no traseiro, músculos de sustentação. Os músculos de tração, que executam longos períodos de atividade e têm curto período de descanso, possuem maiores quantidades de fibras vermelhas, já que necessitam de muito oxigênio para seu metabolismo. Já os músculos de sustentação, que executam movimentos ou contrações rápidas e necessitam de um período de descanso maior, possuem quantidades elevadas de fibras brancas e obtêm energia via metabolismo anaeróbio, necessitando de mais glicogênio muscular (KIRCHOFER et al., 2002). Em adição, ao avaliar os tipos de fibras e fatores envolvidos no amaciamento dos músculos *Longissimus dorsi* e *Triceps brachii*, Geesink et al. (1995) também verificaram que o primeiro apresentou maiores quantidades de fibras glicolíticas e o segundo, de fibras oxidativas.

Ainda de acordo com Geesink et al. (1995), além do aporte de fibras musculares, o papel fisiológico do músculo determina também a quantidade e a solubilidade do tecido conjuntivo intramuscular. Uma vez que cada músculo é estruturalmente e metabolicamente diferente, estas diferenças refletem seu alto grau de especialização funcional, que, por sua vez, sugere plasticidade metabólica e capacidade de adaptação, de acordo com a função a ser executada. Nesse sentido, os músculos da locomoção apresentam maior teor de colágeno total e insolúvel ao calor do que músculos da sustentação, que desempenham menor esforço (ARCHILE-CONTRERAS et al., 2010). De acordo com Judge e Aberle (1982), existe alta correlação entre a quantidade dos componentes da cadeia de colágeno e a força de cisalhamento do músculo; em adição, segundo Lepetit et al. (2007), o encurtamento muscular que corrobora com o endurecimento da carne durante o cozimento, ocorre como consequência do encolhimento térmico do colágeno intramuscular.

Nos estudos relacionados à ciência e qualidade da carne bovina, considera-se como padrão a avaliação do músculo *Longissimus*, sendo este considerado representativo da normalidade fisiológica das carcaças. Entretanto, análise da carne proveniente de um único músculo, como o *Longissimus dorsi*, pode não ser uma representação fiel das características de toda a carcaça, pois existem especificidades anatômicas e fisiológicas entre os músculos (ARCHILE-CONTRERAS et al., 2010; GRUBER et al., 2006; SCHÖNFELDT; STRYDOM, 2011). Por esta razão, faz-se necessário o estudo de distintos cortes cárneos.

2.4.1 Maciez da carne bovina

Dentre os principais atributos sensoriais da carne, a maciez exerce forte influência na satisfação do consumidor (LISTRAT et al., 2020) e muitos consumidores estão dispostos a pagar mais por cortes mais macios (BOLEMAN et al., 1997; MILLER et al., 2001). No entanto, muitos são os fatores que controlam a variação na maciez da carne e a inconsistência na maciez da carne bovina tem-se mostrado um problema enfrentado pelos elos da cadeia produtiva no decorrer dos anos.

A maciez da carne pode ser avaliada objetivamente ou subjetivamente. Para uma avaliação objetiva, é comumente utilizada a análise de força de cisalhamento (FC), principalmente pela metodologia Warner-Bratzler Shear Force (WBSF). A FC pode ser definida como a carga máxima de força necessária para cisalhar uma amostra de carne, onde a lâmina do equipamento deve realizar o cisalhamento perpendicularmente às fibras musculares. A FC de uma amostra de carne é inversamente proporcional à sua maciez, ou seja, quanto maior a força necessária para o cisalhamento, menos macia é a carne (MILLER et al., 1995). A avaliação subjetiva é realizada por meio da análise sensorial (AS), em que provadores caracterizam a carne em diferentes níveis de aceitação em relação à atributos como maciez, sabor, suculência, odor, entre outros (HOLMAN et al., 2017).

Entretanto, a percepção dos consumidores em relação aos atributos de qualidade da carne pode variar de acordo com fatores regionais, culturais, econômicos, entre outros. De acordo com a American Society for Testing and Materials (ASTM, 2011), o estabelecimento de um padrão de maciez para a carne bovina proporciona uma melhor comunicação e entendimento entre produtores, processadores e consumidores acerca das expectativas em relação ao produto final. Por esse motivo, foi definido pela ASTM (2011) o valor mínimo de referência para maciez (limiar de maciez) em 4,4 kg ou 43,1 N pela técnica WBSF. Adicionalmente, após uma série de estudos e ajustes, também houve uma padronização em relação aos procedimentos adotados para a execução da técnica WBSF pela American Meat Science Association (AMSA, 2016). Contudo, ressalta-se que ainda não foi estabelecido um limiar de maciez da carne, considerando a percepção do consumidor brasileiro. Desta forma, utiliza-se o padrão americano como representativo da pesquisa científica instrumental e sensorial.

Os fatores envolvidos no processo de amaciamento da carne podem ser divididos em fatores *ante mortem*, como raça, sexo, alimentação, condições de manejo, idade ao abate, entre outros, e *post mortem*, relacionados aos processos tecnológicos utilizados durante e após o abate, como o resfriamento da carcaça e maturação da carne (FELÍCIO, 1993). Têm sido realizados muitos estudos acerca da interação entre estes fatores e características biológicas (colágeno, fibras musculares, lipídeos, enzimas e outros) do tecido muscular, e como estas interações podem afetar os diferentes atributos sensoriais (cor, textura, sabor, entre outros). Ressalta-se também a importância da compreensão dos componentes biológicos relacionados com atributos sensoriais que sejam de fácil avaliação e, preferivelmente, que apresentem herdabilidade suficiente para serem selecionados (DANG et al., 2020; DU et al., 2017; LADEIRA et al., 2016; OUALI et al., 2013; PICARD; GAGAOUA, 2017).

2.4.2 Fibra muscular e degradação miofibrilar

Células musculares, adipócitos e fibroblastos são derivados do mesmo *pool* de células mesenquimais indiferenciadas encontradas no tecido muscular esquelético durante estágios iniciais do desenvolvimento (DU et al., 2010; DUARTE et al., 2012). A maior parte destas células é direcionada à miogênese e o restante pode se diferenciar em adipócitos e/ou fibroblastos que competem por meio de uma via de sinalização comum (UEZUMI et al., 2011).

As fibras musculares ou células musculares consistem em feixes de miofibrilas rodeadas por uma membrana plasmática (sarcolema) e são consideradas células altamente organizadas. As miofibrilas são constituídas por sarcômeros, unidades contráteis que se repetem ao longo de seu comprimento, sendo a menor porção da fibra muscular com capacidade de contração e distensão. Ao longo do sarcômero, há uma distribuição de filamentos de dois tipos principais de proteínas: actina e miosina (LONERGAN; LONERGAN, 2008).

A actina é uma molécula globular que se agrega a outras moléculas formando um cordão em dupla hélice denominado filamento fino; a miosina é uma proteína contrátil constituída por cabeça e cauda, que forma a espinha dorsal do filamento grosso, enquanto a cabeça se estende desde o filamento grosso até o filamento fino de actina. As faixas mais extremas e mais claras do sarcômero são denominadas bandas I e contêm apenas filamentos de actina, e dentro de cada banda I existe a linha Z, que corresponde a várias uniões entre dois filamentos de actina. A faixa

central e mais escura do sarcômero é denominada banda A e suas extremidades são formadas por filamentos de actina e miosina sobrepostos, e dentro de cada banda A existe a banda H, que contém apenas miosina. Um sarcômero compreende o segmento entre duas linhas Z, e caracteriza a unidade contrátil da fibra muscular (JUNQUEIRA; CARNEIRO, 2004; LAWRIE; LEDWARD, 2006).

O processo de contração muscular é desencadeado por um estímulo nervoso e ocorre por meio do complexo actinmiosina. Após o abate do animal, têm início na musculatura esquelética uma série de transformações bioquímicas que alteram o processo de contração e culminam na rigidez das massas musculares, processo conhecido como *rigor mortis* (WHEELER; KOOHMARAIE, 1994). Com a morte e consequente cessação do suprimento sanguíneo, a via de obtenção de energia passa a ser inteiramente anaeróbica, sendo degradadas as reservas de fosfocreatina, glicogênio e outros carboidratos e, por fim, o ATP. A hidrólise de ATP promove o declínio do pH muscular devido ao aumento de íons H⁺. O pH do músculo vivo de mamíferos varia entre 7,1 e 7,3 e, após o abate do animal, diminui gradativamente até atingir valores em torno de 5,5 e 5,6, sendo o pH final na musculatura de bovinos estabelecido entre 24 a 48 horas após o abate (PEARSON, 2012).

Para que o músculo possa reverter à condição de contração pelo desligamento do complexo actinmiosina é necessária a presença de energia, entretanto, com a depleção das reservas energéticas, a sobreposição do complexo actinmiosina torna-se irreversível. Contudo, após o estabelecimento do *rigor mortis*, cerca de 24 a 48 horas após o abate, a depender da reserva energética nos músculos, ocorre o amaciamento das massas musculares devido à degradação enzimática do tecido muscular, promovida por enzimas proteolíticas como as calpaínas, catepsinas, proteasomas e caspases, que são ativadas pelo aumento da concentração de cálcio muscular. A resolução do *rigor mortis* constitui a primeira etapa do amaciamento da carne durante a maturação (SAVELL; MUELLER; BAIRD, 2005).

Uma vez que a taxa e extensão da proteólise das proteínas responsáveis por manter a integridade das miofibrilas se caracteriza como um dos principais fatores responsáveis pela maciez da carne (KOOHMARAIE et al., 2002), tornou-se amplamente utilizado pela indústria o processo tecnológico de maturação, que consiste em permitir uma ação prolongada das proteases naturalmente presentes nas carnes, sob refrigeração (temperatura em torno de 0 °C), embaladas a vácuo ou em câmaras de resfriamento, por um período de 7 a 28 dias, promovendo a ruptura das

miofibrilas e, conseqüentemente, o amaciamento da carne, além de aprimorar outras características como suculência, sabor e odor (LAWRENCE et al., 2006).

Muitos autores consideram o sistema de calpaínas o principal mecanismo responsável pela proteólise e amaciamento da carne. Estas enzimas não agem diretamente sobre a actina e miosina, mas degradam a linha Z e hidrolisam as proteínas desmina, titina, nebulina, troponina e tropomiosina, promovendo a fragmentação das miofibrilas. Além disso, o sistema de calpaínas é constituído também pela presença de calpastatina, que atua como inibidora das calpaínas, prejudicando a maciez da carne (KOOHMARAIE, 1994). Contudo, outras pesquisas têm sugerido que outros sistemas enzimáticos podem contribuir para a proteólise da carne, como as caspases, proteassomas, catepsinas e proteínas de choque térmico (HSPs, do inglês, *heat shock proteins*) (OUALI et al., 2006).

Segundo Herrera-Mendez et al. (2006), as caspases degradam principalmente as proteínas envolvidas na organização espacial das miofibrilas dentro das células musculares, o que facilita a ação posterior dos outros sistemas proteolíticos sobre os componentes celulares. De acordo com Lana e Zolla (2015), o proteassoma 20S está envolvido na regulação de várias vias celulares, por meio da degradação de proteínas do citosol e do núcleo das células, e Robert et al. (1999) descreveram que a incubação do proteassoma 20S com células musculares bovinas causou a degradação de proteínas da estrutura miofibrilar como nebulina, actina, miosina e tropomiosina após 24 horas. Além disso, HSPs, reconhecidas como chaperonas devido a sua função antiapoptótica, possuem diversas funções antiestresse e promovem a manutenção da homeostase celular (MA; KIM, 2020). As HSPs agem tentando manter a integridade e a funcionalidade das proteínas diante de algum tipo de estresse, portanto, podem desempenhar funções importantes no metabolismo *post mortem* com conseqüentes implicações para a qualidade da carne (LOMIWES et al., 2014).

As catepsinas são enzimas proteolíticas capazes de degradar a estrutura miofibrilar e o tecido conjuntivo. As catepsinas B e D degradam a actina e miosina nativas, e as catepsinas B e L degradam o colágeno, o que pode indicar um sinergismo com o sistema das calpaínas; entretanto, as catepsinas possuem alta atividade em pH ácido e atividade reduzida em pH em torno de 5,5 (ROÇA, 2001). De acordo com Monsón et al. (2004), o teor de colágeno solubilizado é maior em carnes maturadas, pela ação proteolítica das catepsinas capazes de clivar o colágeno insolúvel em fragmentos solúveis.

De acordo com Koohmaraie (2002), o comprimento do sarcômero, o teor de colágeno intramuscular e a taxa de proteólise miofibrilar explicam a maioria das variações verificadas na maciez da carne maturada. Entretanto, ainda segundo estes autores, a contribuição relativa de cada um destes fatores pode variar de acordo com o músculo avaliado, onde o comprimento de sarcômero é o principal determinante da maciez no músculo *Psoas major*, a proteólise miofibrilar é a principal contribuinte no músculo *Longissimus*, e o teor de colágeno é o principal fator associado à maciez de músculos como *Bíceps femoris* e *Semimembranosus*.

2.4.3 Tecido conjuntivo intramuscular

O tecido conjuntivo intramuscular, entre outras funções, atua na sustentação das fibras musculares, conferindo resistência e rigidez aos músculos. Por esse motivo, a sua quantidade e estabilidade representam alguns dos principais fatores responsáveis pela maciez da carne (CHANG et al., 2012). O colágeno é a principal proteína constituinte do tecido conjuntivo que se relaciona com a textura da carne (McCORMICK, 1994), se caracterizando como uma proteína fibrosa formada por três cadeias polipeptídicas helicoidais, denominadas cadeias α , contendo cada uma aproximadamente 1000 aminoácidos. Os principais aminoácidos constituintes do colágeno são a glicina, prolina, lisina, hidroxiprolina e hidroxilisina, estes últimos, derivados da prolina e lisina, respectivamente. As cadeias se enovelam formando uma tripla hélice estável e de tamanho variado (LEHNINGER et al., 2002). O colágeno é caracterizado por ser uma das poucas proteínas compostas por elevada concentração de hidroxiprolina, em torno de 14%, cuja determinação é utilizada para quantificar a concentração de colágeno e suas frações na carne, devido ao fato de se manter em quantidades constantes (DUGAN et al., 2000; KOLAR, 1990; PRICE; SCHWEIGERT, 1976; SIMS; BAILEY, 1981; WOESSNER, 1961).

A estabilidade mecânica das proteínas colágenas é proporcionada pela formação de ligações cruzadas intra ou intermoleculares, que podem ser caracterizadas em covalentes (ligações peptídicas que ocorrem entre os elementos das cadeias), divalentes (ligações entre duas moléculas de colágeno), ou trivalentes (ligação entre duas fibras colágenas, formando feixes); de forma que, quanto maior o número de ligações divalentes e trivalentes presentes no tecido muscular, maior será a termo estabilidade do colágeno (LEPETIT, 2007).

Quando os músculos são consumidos como carne, o epimísio é comumente removido durante a preparação, de modo que o perimísio e o endomísio se tornam as principais estruturas relacionadas à textura da carne. Adicionalmente, as variações na quantidade do perimísio nos músculos são maiores do que as variações no endomísio, de forma que a força necessária para cisalhar a carne cozida é determinada principalmente pela rede perimisial, uma vez que essa rede é considerada o fator dominante na resistência e na rigidez dos tecidos musculares (PURSLOW, 2014).

A quantidade e a insolubilidade do colágeno contribuem com a dureza do músculo *post mortem*, e a sua solubilização térmica estão relacionadas com a diminuição da dureza da carne cozida (BAILEY, 1985; HALL; HUNT 1982; RILEY et al., 2005; TORRESCANO et al., 2003). No entanto, esta proteína é responsável por muitas das transformações que ocorrem na textura da carne durante o cozimento, onde o grau e extensão destas transformações dependem da maturidade do colágeno e de fatores como a taxa de aquecimento, umidade e procedimento durante o preparo da carne (POWELL et al., 2000).

De acordo com Davey e Gilbert (1974), em temperatura de cozimento entre 60 e 70°C, as fibras do colágeno se retraem provocando uma perda adicional de água, acarretando em aumento da dureza da carne. Em adição, segundo Tornberg (2005), as fibras de colágeno podem encolher de 1/3 a 1/4 do seu comprimento inicial em temperatura próxima a 60 °C, e acima desta temperatura o colágeno se transforma em gelatina hidrossolúvel, enquanto Laakkonen et al. (1970) relataram que se a temperatura de cocção é baixa o suficiente para minimizar o encolhimento do colágeno, não se verifica perda na maciez da carne.

O conteúdo de colágeno depositado nos músculos, sua estabilidade e temperatura de solubilização podem variar com a idade do animal, tipo de músculo, sexo, alimentação, sistema de criação, entre outros fatores, que conferem maior ou menor resistência e estabilidade às ligações cruzadas de suas moléculas (McCORMICK, 1994). Em animais jovens, o colágeno recém-sintetizado se caracteriza por ser termossolúvel, já em animais com idade mais avançada, a proteína se torna mais resistente às temperaturas elevadas devido ao maior número de ligações cruzadas intermoleculares (LATORRE et al., 2017).

Segundo Geesink et al. (1995), o papel fisiológico do músculo influencia a quantidade e a solubilidade do tecido conjuntivo, uma vez que cada músculo é estruturalmente e metabolicamente diferente. Dessa forma, músculos da locomoção

apresentam maior teor de colágeno total e menor porcentagem de colágeno solúvel ao calor que músculos de sustentação (ARCHILE-CONTRERAS et al., 2010), uma vez que músculos que possuem maior funcionalidade contêm maior conteúdo de colágeno em relação aos músculos que desempenham menor esforço (TAYLOR, 2004). Ainda, a alimentação e o sistema de criação também podem influenciar o conteúdo de colágeno intramuscular, pois bovinos confinados e alimentados com dietas de alta densidade energética, apresentam maior ganho de peso médio diário e, conseqüentemente, formação de colágeno de maior solubilidade, devido à maior taxa de *turnover* proteico (CROUSE et al., 1986).

Em relação à influência da condição sexual dos bovinos sobre o perfil de colágeno intramuscular, as diferenças fisiológicas entre machos não castrados, machos castrados e fêmeas afetam o crescimento e o desenvolvimento dos tecidos corporais, entre eles, o tecido conjuntivo. Em geral, animais machos apresentam maior crescimento muscular que as fêmeas, com maior quantidade de tecido conjuntivo de sustentação e colágeno intramuscular (BOCCARD et al., 1979; CHRICKI et al., 2013; FLORES; BERMELL, 1988; LUCHIARI FILHO 2000; SEIDEMAN et al., 1989), e a castração é relatada como uma condição redutora dessa proteína no tecido muscular dos bovinos machos (FLORES; BERMELL, 1988; MORGAN et al., 1993).

Adicionalmente, Crouse et al. (1986) relataram maior força de cisalhamento para a carne de animais machos em comparação às fêmeas, o que os autores atribuíram às maiores concentrações de colágeno encontradas nos músculos desses animais, enquanto Seideman et al. (1982) e Cross, Schanbacher e Crouse (1984) descreveram que machos inteiros tendem a apresentar maior dureza da carne devido à maior insolubilidade do colágeno intramuscular, em comparação à carne de fêmeas.

Burson et al. (1986) e Gerrard et al. (1987) verificaram que a diferença na maciez da carne de machos não castrados e castrados deve-se, entre outros fatores, devido às características do tecido conjuntivo, em que não castrados teriam maior quantidade de colágeno insolúvel, ao passo em que Cross, Schanbacher e Crouse (1984), Morgan et al. (1993) e Zilio et al. (2009) também relataram que a dureza da carne de machos não castrados é comumente associada à menor solubilidade do colágeno. Todavia, deve ser considerado o fato de bovinos não castrados serem abatidos, geralmente, em idade mais elevada, de forma que o avanço da maturidade fisiológica promove o aumento do teor de colágeno insolúvel nos músculos e, conseqüentemente, diminuição da maciez da carne (OSÓRIO; OSÓRIO, 2000).

Ademais, uma vez que o tecido conjuntivo intramuscular forma uma rede contínua em todo o músculo, ele deve ser continuamente remodelado durante o crescimento animal para permitir o crescimento muscular por meio da hipertrofia das fibras musculares. Dessa forma, segundo Purslow (2018), o *turnover* proteico apresentado por animais de crescimento rápido proporciona também maior proporção de colágeno recém-sintetizado, que é termolábil, afetando positivamente a textura da carne, pressupondo que a fração de colágeno intramuscular que é solúvel seja geralmente igual ou maior em machos não castrados em comparação às demais categorias (MCCORMICK, 1994; CROUSE et al., 1985; MILLER et al., 1989), uma vez que estes apresentam maior taxa de crescimento muscular.

2.4.4 Gordura intramuscular

A gordura intramuscular ou marmorização corresponde à presença de faixas de tecido adiposo entre os feixes de fibras musculares no músculo esquelético de animais produtores de carne e o escore de deposição de gordura intramuscular é utilizado como uma característica de determinação de qualidade da carne (HARPER; PETHICK, 2004). Apesar de o termo marmorização se referir à presença de gordura visível nos cortes cárneos, a quantidade de gordura intramuscular inclui também os depósitos microscópicos dentro das células dos músculos (BLUMER, 1963).

A adipogênese consiste no desenvolvimento de pré-adipócitos ou células tronco mesenquimais para adipócitos maduros e é essencial para a formação da gordura nos mamíferos (ROMAO, 2011). Em animais de produção, este processo é marcado por modificações celulares assíncronas onde são formados primariamente o tecido adiposo visceral, seguido pelo intermuscular, subcutâneo e, por fim, o intramuscular (BERG; BUTTERFIELD, 1976). Uma vez que a gordura intramuscular é a última a ser depositada, pode-se dizer que a maturidade fisiológica dos animais regula fortemente o desenvolvimento deste tecido (HAMMOND, 1995). Contudo, diversos fatores de ordem genética e ambiental podem influenciar este processo, como grupo genético, condição sexual, sistema de criação, nível nutricional e bio-hidrogenação ruminal (TEIXEIRA, 2017).

Em relação à influência da condição sexual dos bovinos sobre a deposição de gordura intramuscular, bovinos machos apresentam, em geral, maiores estímulos à deposição de tecido muscular e menor deposição de tecido adiposo, enquanto fêmeas apresentam, em geral, maior deposição de gordura intramuscular e subcutânea

(SEIDEMAN et al., 1982). Já os machos castrados, assim como as fêmeas, apresentam maior deposição de tecido adiposo na carcaça e na carne do que os machos não castrados, devido à redução dos estímulos hormonais promovidos pela testosterona e redução da taxa metabólica basal, resultantes da castração (BERG; BUTTERFIELD, 1976).

De acordo com Smith (2001), carnes de animais com elevado escore de marmorização, ou seja, alta quantidade de gordura intramuscular, tendem a ser mais macias quando avaliadas por técnicas laboratoriais ou painéis de degustação. O efeito da gordura intramuscular sobre a maciez seria em função da diminuição da densidade da carne, com a menor tensão entre as camadas de tecido conjuntivo, de forma que a gordura provoca maior salivação e “lubrificação” das proteínas pelos lipídios (ALVES et al., 2005).

Entretanto, Jones e Tatum (1994) descreveram que a gordura intramuscular explicaria apenas 9% da variação na maciez objetiva da carne, medida pela força de cisalhamento e 5,1% da variação na maciez subjetiva, medida pela análise sensorial. Por outro lado, Champion et al. (1975) relataram que a gordura intramuscular explicaria apenas 4% e 8% da variação na maciez, avaliada pela força de cisalhamento e em painéis sensoriais, respectivamente. Ressalta-se, contudo, que a gordura intramuscular contribui significativamente para a suculência e sabor da carne, além da maciez, influenciando sua palatabilidade geral (THOMPSON, 2002).

REFERÊNCIAS

ALVES, D. D.; GOES, H. de T. B. de; MANCIO, A. B. Maciez da carne bovina. **Ciência Animal Brasileira**, v. 6, n. 3, p. 135-149, 2005.

AMERICAN MEAT SCIENCE ASSOCIATION (AMSA). **Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation, and Instrumental Tenderness Measurements of Meat**. 2. ed. Champaign, Illinois: AMSA, 2016. 105p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard Specification for Tenderness Marketing Claims Associated with Meat Cuts Derived from Beef**. 1. ed. West Conshohocken, Pensilvania: ASTM International, 2011. 3p.

ANDREO, N. et al. Influência da imunocastração (Bopriva®) no ganho de peso, características de carcaça e qualidade da carne de bovinos Nelore. Semina: **Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6Supl2, p. 4121, 17 dez. 2013.

ARCHILE-CONTRERAS, A.C.; MANDELL, I.B.; PURSLOW, P.P. Disparity of dietary effects on collagen characteristics and toughness between two beef muscles. **Meat Science**, v.86, p.491-497, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INSEMINAÇÃO ARTIFICIAL (ASBIA). **Index ASBIA 2021**. Disponível em: <<http://www.asbia.org.br/wp-content/uploads/2022/02/Index-Asbia-2021-M%C3%ADdia-3.pdf>>. Acesso em 20 set. 2022.

BAILEY, A. J. The role of collagen in the development of muscle and its relationship to eating quality. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 60, n. 6, p. 1580-1587, 1985.

BATISTELLI, I. J. C.; BATISTELLI, J. C. O. R.; BESS, B. L.; MENEZES, F. L.; MORAES, K. A. K.; MORAES, E. H. B. K. Criação intensiva em confinamento como estratégia de manejo em bovinos de corte - revisão da literatura. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 11, n. 2, e1611225179, 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i2.25179>>. Acesso em 22 set. 2022.

BERG, R.T.; BUTTERFIELD, R. M. New concepts of livestock growth. Sydney: **Sydney University Press**, p. 240, 1976.

BIANCHINI, W.; SILVEIRA, A. C.; JORGE, A. M.; ARRIGONI, M. D. B.; MARTINS, C. L.; RODRIGUES, É.; HADLICH, J. C.; ANDRIGHETTO, C. Efeito do grupo genético sobre as características de carcaça e maciez da carne fresca e maturada de bovinos superprecoces. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 6, p. 2109-2117, 2007.

BLUMER, T. N. Relationship of marbling to the palatability of beef. **Journal of Animal Science**, v. 22, n. 3, p. 771-778, 1963.

BOCCARD, R. L.; NAUDÉ, R. T.; CRONJE, D. E.; SMIT, M. C.; VENTER, H. J.; ROSSOUW, E. J. Influence of age, sex and breed of cattle on their muscular characteristics. **Meat Science**, 3: 261-280, 1979.

BOLEMAN, S. J., BOLEMAN, S. L., MILLER, R. K. et al. Consumer evaluation of beef of know categories of tenderness. **Journal of Animal Science**, v.75, p.1521-1524, 1997.

BONNY, S. P. F. et al. The variation in the food quality of beef of different sexes and breed classes cannot be fully explained by carcass measurements. **Animal**, v. 10, n. 6, p. 987-995. 2016.

BURSON, D. E.; HUNT, M. C.; UNRUH, J.A. Proportion of types I and III collagen in Longissimus collagen from bulls and steers. **Journal of Animal Science**, v. 63, n. 2, p. 453-456, 1986.

CAMPION, D. R.; CROUSE, J. D.; DIKEMAN, M. E. Predictive value of USDA beef quality grade factors for cooked meat palatability. **Journal of Food Science**, v. 40, n. 6, p.1225-1275.

CARVALHO, M. E.; GASPARIN, G.; POLETI, M. D.; ROSA, A. F.; BALIEIRO, J. C. C.; LABATE, C. A.; NASSU, R. T.; TULLIO, R. R.; REGITANO, L. C. de A.; MOURÃO, G. B.; COUTINHO, L. L. Heat shock and structural proteins associated with meat tenderness in Nelore beef cattle, a *Bos indicus* breed. **Meat Science**, v. 96, n. 3, p. 1318-1324, 2014.

CHANG, H. et al. Effects of changes in collagen characteristics on the physicochemical properties of beef semitendinosus muscle meat during ultrasonic processing. **Food Technology and Bioprocess**, v. 5, n. 1, p. 285-297, 2012.

CHRIKI, S. et al. Cluster analysis application identifies muscle characteristics of importance for beef tenderness. **BMC biochemistry**, v. 13, n. 1, p. 1-11, 2012.

CHRIKI, S. et al. Meta-analysis of the relationships between beef tenderness and muscle characteristics. **Livestock Science**, v. 155, n. 2-3, p. 424-434, 2013.

CHOAT, W. T. et al. The effects of cattle sex on carcass characteristics and longissimus muscle palatability. **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 7, p. 1820-1826, 2006.

CROSS, H. R.; SCHANBACHER, B. D.; CROUSE, J. D. Age and race-related changes in bovine testosterone and intramuscular collagen. **Meat Science**, Barking, v. 10, p. 187-195, 1984.

CROUSE, J. D.; CALKINS, C. R.; SEIDEMAN, S. C. The effects of rate of change in body weight on tissue development and meat quality of young bulls. **Journal of Animal Science**, v. 63, n. 6, p. 1824-1829, 1986.

CROUSE, J. D.; CROSS, H. R.; SEIDEMAN, S. C. Effects of sex condition, genotype, diet and carcass electric stimulation on the collagen content and palatability of two bovine muscles. **Journal of Animal Science**, 60(5), 1228-1234, 1985.

CROUSE, J. D. et al. Comparisons of bos indicus and Bos taurus inheritance for beef traits and meat palatability. **Journal of Animal Science**, Champaign. v. 67, p. 2661-2668, 1989.

CUNDIFF, L. V. Beef cattle: breeds and genetics. In: POND, W. **Encyclopedia of Animal Science**. Ithaca, NY, 2004.

DANG, D. S.; BUHLER, J. F.; THORNTON, K. J.; LEGAKO, J. F.; MATARNEH, S. K. Myosin heavy chain isoform and metabolic profile differ in beef steaks varying in tenderness. **Meat Science**. 170, 108266, 2020.

DAVEY, C. L.; GILBERT, K. V. Temperature-dependent cooking toughness in beef. **Journal of the Science and Agriculture**. London, v. 25, n. 8, p 931-938, 1974.

DU, M.; FORD, S. P.; ZHU, M. J. Optimizing livestock production efficiency through maternal nutritional management and fetal developmental programming. **Anim. Front.** 2017.

DUARTE, M. S.; PAULINO, P. V.; FONSECA, M. A.; DINIZ, L. L.; CAVALI, J.; SERAO, N. V.; GOMIDE, L. A.; REIS, S. F.; COX, R. B. Influence of dental carcass maturity on carcass traits and meat quality of nellore bulls. **Meat Science**, 88: 441-446, 2011.

DUGAN, M. E. R.; THACKER, R. D.; AALHUS, R. D.; JEREMIAH, L. E.; LIEN, K. A. Analysis of 4-hydroxiproline using 4-chloro-7-nitrobenzo-2-oxa-13diazol derivatization and micellar electrokinetic chromatography combined with laser induced fluorescence detection. **Journal of Chromatography**, v. 744, p. 195-199, 2000.

FELÍCIO, P. E. Fatores ante e post-mortem que influenciam na qualidade da carne vermelha. Anais dos Simpósios da 30a. **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**. Rio de Janeiro-RJ, p.43-52. 1993.

FERRAZ, J. B. S.; FELÍCIO, P. E. Sistemas de produção – Um exemplo do Brasil. **Ciência da Carne**. 84, 238–243. 568 de 2010.

FLORES, J.; BERMELL, S. Colágeno: características y propiedades de intrés para a indústria carniça. **Revista Agroquímica Tecnología y Alimentos**, Valencia, v. 28, n. 4, p. 463-472, 1988.

FRITSCHÉ, S.; STEINHART, H. Differences in the natural hormonal patterns of beef steroids from bulls and steers. **Journal of Animal Science**, v. 76, n. 6, p. 1621-1625, 1998.

FRYLINCK, L.; STRYDOM, P.E.; WEBB, E.C.; TOIT, E. Effect of South African beef production systems on post-mortem muscle energy status and meat quality. **Meat Science**, v.93, p.827–837, 2013.

GEESINK, G. H.; KOOLMEES, P. A.; VAN LAACK, H. L. J. M.; SMULDERS, E. J. M. Determinantes da Tenderisation em Beef Longissimus dorsi e Triceps brachii Muscles. **Meat Science**, v.41, n.1, p.7-17, 1995.

GERRARD, D. E.; JONES, S. J.; ABERLE. Collagen E.D. stability, testosterone secretion and meat tenderness in growing bulls and steers. **Journal of Animal Science**, v. 65, n. 5, p. 1236-1242, 1987.

GOMIDE, L. A. M.; RAMOS, E. M.; FONTES, P. R. **Ciência e qualidade da carne - Fundamentos**. Viçosa: UFV, p. 197, 2013.

GRUBER, S. L.; TATUM, J. D.; SCANGA, J. A.; CHAPMAN, P. L.; SMITH, G. C.; BELK, K. E. Effects of postmortem aging and USDA quality grade on Warner-Bratzler shear force values of seventeen individual beef muscles. **Journal of Animal Science**, v.84, p.3387-3396, 2006.

HALL, J. B.; HUNT, M. C. Collagen solubility of a-maturity bovine Longissimus muscle as affected by nutritional regimen. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 55, n.2, p. 321-328, 1982.

HAMMOND, J. Progress in the physiology of farm animals (vol 2). London: **Butterworths Scientific Publications**, 1995.

HANNULA, T.; PUOLANNE, E. The effect of cooling rate on beef tenderness: The significance of pH at 7°C. **Meat Science**, Barking, v.67, p.403-408, 2004.

HARPER, G. S.; PETHICK, D. W. How might marbling begin? **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 44, n. 7, p. 653-662, 2004.

HERRERA-MENDEZ, C. H. et al. Meat ageing: Reconsideration of the current concept. **Trends in Food Science and Technology**, v. 17, n. 8, p. 394–405, 2006.

HOLMAN, B. W. B. et al. Effect of Beef Pre-Cooking Status (Frozen V. Thawed) and Sample Weight on Shear Force Evaluation. **Food Analytical Methods**, v. 10, n. 10, p. 3235–3238, 2017.

HUFFMAN, R. D. et al. Effects of brahman and angus percentage reproduction, feeding season and end point slaughter on feedlot performance and carcass characteristics. **Journal of Animal Science**, Champaign v. 68, p. 2243-2252, 1990.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agropecuária**. Disponível em: Produção Agropecuária no Brasil | IBGE. Acesso em: 19 set. 2022.

JOHNSON, D. D. et al. Effects of percentage Brahman and Angus breeding, age-season of feeding and slaughter end point on meat palatability and muscle characteristics. **Journal of Animal Science**, v. 68, n. 7, p. 1980-1986, 1990.

JONES, B. K.; TATUM, J. D. Predictors of beef tenderness among carcass produced under commercial conditions. **Journal of Animal Science**, v. 72, n. 6, p. 1492-1501, 1994.

JOO, S. T. et al. Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics. **Meat science**, v. 95, n. 4, p. 828-836, 2013.

JUDGE, M. D.; ABERLE, E. D. Effects of chronological age and postmortem aging on thermal shrinkage temperature of bovine intramuscular collagen. **Journal of Animal Science**, v.54, p.68-71, 1982.

JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. **Histologia Básica**. 11^a edição. Rio de Janeiro, 2004.

KIRCHOFER, K. S.; CALKINS, C. B.; GWARTNEY, B. L. Fiber-like composition of meat and round chuck muscles. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 80 no. 11, p. 2872-2878, 2002.

KOLAR, K. Colorimetric determination of hydroxyproline as measure of collagen content in meat and meat products: NMKL collaborative study. **Journal of Association of Official Analytical Chemists**, v. 71, p. 54-57, 1990.

KOOHMARAIE, M. et al. Meat tenderness and muscle growth: is there any relationship? **Meat Science**, v. 62, n. 3, p. 345-352, 2002.

KOOHMARAIE, M. Muscle proteinases and meat aging. **Meat Science**, v. 36, n. 1-2, p. 93-104, 1994.

KRUGGEL, W. G.; FIELD, R. A. Soluble intramuscular collagen characteristics from stretched and aged muscle. **Journal of Food Science**, Wyoming, v. 36, p. 1114-1117, 1971.

LAACKONEN, E.; WELLINGTON, G. H.; SHERBON, J. W. Low-Temperature, Long-Time heating of bovine muscle. Changes in Tenderness, Water-Binding Capacity, pH

and Amount of Water-Soluble Components. **Journal of Food Science**. Vol. 35, p. 175-177, 1970.

LADEIRA, M.; SCHOONMAKER, J.; GIONBELLI, M.; DIAS, J.; GIONBELLI, T.; CARVALHO, J.; TEIXEIRA, P. Nutrigenomics and Beef Quality: A Review about Lipogenesis. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 17, n. 6, p. 918-938, 2016.

LAGE, J. F.; PAULINO, P. V. R.; FILHO, S. C. V.; SOUZA, E. J. O.; DUARTE, M. S.; BENEDETI, P. D. B.; SOUZA, N. K. P.; COX, R. B. Influence of genetic type and level of concentrate in the finishing diet on carcass traits and meat quality in beef heifers. **Meat Science**, v. 90, n. 3, p. 770-774, 2012.

LANA, A.; ZOLLA, L. Apoptosis or autophagy, that is the question: Two ways for muscle sacrifice towards meat. **Trends in Food Science and Technology**, v. 46, n. 2, p. 231–241, 2015.

LATORRE, M. E.; IEZZI, S.; CHRISTENSEN, S.; PURSLOW, P. P. Castrated against entire male cattle; meat quality and connective tissue properties. **Journal of Agricultural Research**, 43(1), 72-77, 2017.

LAWRENCE, R. W. et al. The efficacy of a vitamin D3 metabolite for improving the myofibrillar tenderness of meat from *Bos indicus* cattle. **Meat Science**, Barking, v.72, p.69-78, 2006.

LAWRENCE, T. L. J.; FOWLER, V. R.; NOVAKOFSKI, J. E. **Growth of farm animals**. Cabi, 2012.

LAWRIE, R. A. The conversion of muscle to meat. In: Lawrie, R. A.; LEDWARD, D. A. Lawrie's meat science. Cambridge: **Woodhead Publishing**, 2006. Chap 2, p. 128-156.

LEHNINGER, A. L.; NELSON, L. D.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica**. 3 ed., São Paulo: SARVIER, 2002, 1009p.

LEPETIT, J. A theoretical approach of the relationships between collagen content, collagen cross-links and meat tenderness. **Meat Science**, Savoy, v. 76, p. 147–159. 2007.

LISTRAT, A. et al. Contribution of connective tissue components, muscle fibres and marbling to beef tenderness variability in longissimus thoracis, rectus abdominis, semimembranosus and semitendinosus muscles. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 100, n. 6, p. 2502–2511, 9 abr. 2020.

LOMIWES, D. et al. The development of meat tenderness is likely to be compartmentalised by ultimate pH. *Meat Science*, v. 96, n. 1, p. 646–651, 2014.

LONERGAN, E. H.; LONERGAN, S. M. Interaction between myofibril structure and proteolytic tenderization in beef. *Proc 54th Int Congr Meat Sci Technol*. Helsinki, p. 1-15, 2008.

LUCHIARI FILHO, A. **Pecuária da carne bovina**. 1. ed. São Paulo: Albino Luchiari Filho, v.1, p.134 -135. 2000.

MA, D.; KIM, Y. H. B. Proteolytic changes of myofibrillar and small heat shock proteins in different bovine muscles during aging: Their relevance to tenderness and water-holding capacity. *Meat Science*, v. 163, n. November 2019, p. 108090, 2020.

MACEDO, M. P.; BASTOS, J. F. P.; BIANCHINI SOBRINHO, E.; RESENDE, F. D.; FIGUEREDO, L. A.; RODRIGUES NETO, A. J. Características de carcaça e composição corporal de touros jovens da raça Nelore terminados em diferentes sistemas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.30, n.5, p.1610-1620, 2001.

MALHEIROS, J. M.; BRAGA, C. P.; GROVE, R. A.; RIBEIRO, F. A.; CALKINS, C. R.; ADAMEC, J.; CHARDULO, L. A. L. Influence of oxidative protein damage on meat tenderness using a proteomic approach. *Meat Science*, v. 148, p. 64-71, 2019.

McCORMICK. Flexibility of the muscle collagen compartment. *Meat Science*. 36, 79-91, 1994.

MENEZES, L. F. G. De et al. Aspectos qualitativos da carcaça e carne de novilhos superjovens da raça Devon, terminados em pastagem tropical, recebendo diferentes níveis de concentrado. Seminário: **Ciências Agrárias**, v. 35, n. 3, p. 1557-1568, 2014.

MIGUEL, G. Z. et al. Immunocastration improves carcass traits and beef color attributes in Nellore and Nellore×Aberdeen Angus crossbred animals finished in confinement. *Meat Science*, v. 96, n. 2, p. 884-891, fev. 2014.

MILLER, M. F. et al. Consumer Acceptability of Beef Steak Tenderness in the Home and Restaurant. **Journal of Food Science**, v. 60, n. 5, p. 963–965, set. 1995.

MILLER, M. F. et al. Consumer thresholds for establishing the value of beef tenderness. **Journal of Animal Science**, v. 79, n. 12, p. 3062–3068, 2001.

MILLER, L. F., JUDGE, M. D., DIEKMAN, M. A., HUDGENS, R. E.; ABERLE, E. D. Relationships among intramuscular collagen, serum hydroxyproline and serum testosterone in growing sheep and wethers. **Journal of Animal Science**, 67(3), 698-703, 1989.

MODZELEWSKA-KAPITUŁA, M.; NOGALSKI, Z. Effect of gender on collagen profile and tenderness of infraspinatus and semimembranosus muscles of holstein-frisian x limousine pollen cattle. **Livestock Science**, v. 167, n. 1, p. 417-424, 2014.

MONSÓN, F.; SAÑUDO, C.; SIERRA, I. Influence of cattle breed and ageing time on textural meat quality. **Meat Science**, v. 68, n. 4, p. 595-602, 2004.

MORGAN, J. B.; WHEELER, T. L.; KOOHMARAIE, M.; CROUSE, J. D.; SAVELL, J. M. Effect of castration on myofibrillar protein turnover, endogenous proteinase activities and muscle growth in bovine skeletal muscle. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 71, p 408-414, fev, 1993.

MUELLER, L. F. et al. Effect of gender status on carcass and meat quality traits in Angusx Nellore cattle. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 8, p. 1078-1089, 2019.

MÜLLER, L. Normas para avaliação de carcaças e concurso de carcaça de novilhos. 2.ed. Santa Maria: **Universidade Federal de Santa Maria**, 1987. 31p.

NISHIMURA, T. Role of the extracellular matrix in the development of skeletal muscle and post-mortem aging of meat. **Meat Science**, 109, 48-55, 2015.

O'CONNOR, S. F.; TATUM, J. D.; WULF, D. M.; GREEN, R. D.; SMITH, G. C. Genetic effects on beef tenderness in composite Bos indicus and Bos taurus cattle. **Journal of Animal Science**, v. 75, n. 7, p. 1822-1830, 1997.

OH, E.; LEE, B.; CHOI, Y. M. Associations of Heat-Shock Protein Expression with Meat Quality and Sensory Quality Characteristics in Highly Marbled Longissimus Thoracis Muscle from Hanwoo Steers Categorized by Warner–Bratzler Shear Force Value. **Foods**, v. 8, n. 12, p. 638, 2019.

OSÓRIO, J. C. da S. et al. Critérios para abate do animal e a qualidade da carne. **Revista Agrarian**, v. 5, n. 18, p. 433- 443, 2012.

OSÓRIO, M. T. M.; OSÓRIO, J. C. S. Condições de abate e qualidade da carne. In: **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – CPPSUL**. Curso qualidade da carne e produtos cárneos. Bagé: EMBRAPA/CPPSUL, p. 79-127, 2000.

OUALI, A. et al. Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. **Meat Science**, v. 74, n. 1, p. 44-58, 2006.

OUALI, A.; GAGAOUA, M.; BOUDIDA, Y.; BECILA, S.; BOUDJELLAL, A.; HERRERA-MENDEZ, C. H.; SENTANDREU, M. A. Biomarkers of meat tenderness: present knowledge and perspectives in regards to our current understanding of the mechanisms involved. **Meat Science**, v. 95, n. 4, p. 854-870, 2013.

OWENS, F.N.; DUBESKI, P.; Hanson, C. F. Factors that alter the growth and development of ruminants. **Journal of Animal Science**, v. 71, n. 11, p. 3138-3150, 1993.

PEREIRA, A. S. C.; BALDI, F.; SAINZ, R. D.; UTEMBERGUE, B. L.; CHIAIA, H. L. J.; MAGNABOSCO, C. U.; MANICARDI, R. F.; ARAUJO, F. R. C.; GUEDES, C. F.; MARGARIDO, R. C.; LEME, P. R.; SOBRAL, P. J. A. Growth performance, and carcass and meat quality traits in progeny of Poll Nellore, Angus and Brahman sires under tropical conditions. **Animal Production Science**, v. 55, n. 10, p. 1295, 2015.

PEREIRA, A. S. C.; MUELLER, L. F.; FERRINHO, A. M.; FURLAN, J. J. M.; BALDI, F.; BALIEIRO, J. C. C. A relação da condição sexual de bovinos com a qualidade da carne. In: SILVA, L. F.P.; GOBESSO, A. A. O.; GAMEIRO, A. H.; BRUNETTO, M. A. **A relação da condição sexual de bovinos com a qualidade da carne**. 8ed. Pirassununga: Editora D, v. 5, p. 41-53, 2014.

PICARD, B. et al. The ontogenesis muscle fiber in agricultural animal species. **Reproduction Nutritional Development**, Aberdeen, v. 42, p. 415-431, 2002.

PICARD, B.; GAGAOUA, M. Proteomic Investigations of Beef Tenderness. **Proteomics Food Science**. From Farm to Fork 177–635 197, 2017.

POWELL, T. H.; HUNT, M. C.; DIKEMAN, M. E. Enzymatic assay to determine collagen thermal denaturation and solubilization. **Meat Science**, Manhattan, v. 54, p. 307-311, 2000.

PRICE, E. O. et al. Aggressive behavior is reduced in bulls actively immunized against gonadotropin-releasing hormone. **Journal of Animal Science**, v. 81, p. 411-415, 2003.

PRICE, J. F.; SCHWEIGERT, B. S. **Ciência de la Carne y de los Productos Cárnicos**. Zaragoza: Editorial Acribia, 1976, 668p.

PURCHAS, R. W. Effect of sex and castration on growth and composition. In: PEARSON, A. J.; DUTSON, T. R. Growth regulation in farm animals: advances in meat research. London: **Elsevier Applied Science**, chap. 8, p. 203-254, 1991.

PURSLOW, P. P. New developments on the role of intramuscular connective tissue in meat toughness. **Annual Reviews of Food Science and Technology**, 5, 133-153. 2014.

RESTLE, J.; VAZ, F. N. Aspectos quantitativos da carcaça de machos Hereford, inteiros e castrados, abatidos aos quatorze meses. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.10, p.1091-1095, 1997.

RESTLE, J.; VAZ, F. N. Eficiência na produção de bovinos de corte. In: **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, 40., Santa Maria, 2003. Anais das Palestras... Santa Maria: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2003.

RILEY, D. G.; JOHNSON, D. D.; CHASE, C. C. Jr.; WEST, R. L.; COLEMAN, S. W.; OLSON, T. A.; HAMMOND, A. C. Factors influencing tenderness in steaks from Brahman cattle. **Meat Science**, Barking, v. 70, n. 2, p. 347-356, 2005.

ROBERT, N. et al. The effect of proteasome on myofibrillar structures in bovine skeletal muscle. **Meat Science**, v. 51, n. 2, p. 149–153, fev. 1999.

ROÇA, R. O. Tecnologia da carne e produtos derivados. Botucatu: **Departamento de Gestão e Tecnologia Agroindustrial**, FCA, UNESP, 2001. 201p.

RODRIGUES, R. T. de S.; CHIZZOTTI, M. L.; VITAL, C. E.; BARACAT-PEREIRA, M. C.; BARROS, E.; BUSATO, K. C.; GOMES, R. A.; LADEIRA, M. M.; MARTINS, T. da S. Differences in Meat Quality between Angus (*Bos taurus taurus*) and Nellore (*Bos taurus indicus*) Cattle through a Proteomic and Phosphoproteomic Approach. **PLOS ONE**, v. 12, n. 1, p.17, 2017.

ROMAO, J. M. et al. MicroRNA regulation in mammalian adipogenesis. **Experimental Biology and Medicine**, v. 236, n. 9, p. 997-1004, 2011.

SAVELL, J. W.; MUELLER, S. L.; BAIRD, B. E. The chilling of carcasses. **Meat Science**, v. 70, n. 3, p. 449-459, 2005.

SCHÖNFELDT, H. C.; STRYDOM, P. E. Effect of age and cut on tenderness of South African beef. **Meat Science**, v.87, p.206–218, 2011.

SEIDEMAN, S. C.; CROSS, H. R.; CROUSE, J. D. Carcass characteristics, sensory properties and mineral content of beef from bulls and steers. **Food Quality Magazine**. 11: 497-507, 1989.

SEIDEMAN, S. C.; CROSS, H. R.; OLTJEN, R. R.; SCHANBACHER, B. D. Use of the Intact Male for Red Meat Production: A Review. **Journal of Animal Science**, v. 55, p. 826-840, 1982.

SHERBECK, J. A. et al. Feedlot performance, carcass traits and palatability traits of Hereford and Hereford Brahman steers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 73, n. 12, p. 3613-3620, 1995.

SILVA, J. A.; PATARATA, L.; MARTINS, C. Influence of ultimate pH on bovine meat tenderness during ageing. **Meat Science**, v. 52, n. 4, p. 453-459, 1999.

SIMS, T. J.; BAILEY, A. J. Connective tissue. In: LAWRIE, R. *Developments in Meat Science*, **Elsevier Applied Science**, London, 1981.

SMITH, G. C. Factors affecting the palatability of beef. In: **Future beef operations seminar**. 2001.

TAYLOR, R. G. Connective tissue structure, function and influence on meat quality, In. **Meat Science Encyclopedia**, p. 306-313, 2004.

TEIXEIRA, P. D. et al. Subspecies and diet affect the expression of genes involved in lipid metabolism and chemical composition of muscle in beef cattle. **Meat Science**, v. 133, p. 110-118, 2017.

THOMPSON, J. Managing meat tenderness. **Meat Science**, v. 62, n. 3, p. 295-308, 2002.

TORRESCANO, G.; SÁNCHEZ-ESCALANTE, A.; GIMÉNEZ, B.; RONCALÉS, P.; BELTRÁN, J. A. Shear values of raw samples of 14 bovine muscles and their relation to muscle collagen characteristics. **Meat Science**, Barking, v. 64, n. 1, p. 85-91, 2003.

TORNBERG, E. Effects of heat on meat proteins? Implications on the structure and quality of meat products. **Meat Science**, Barking, v. 70, n. 3, p. 493-508, 2005.

UEZUMI, A. et al. Fibrosis and adipogenesis originate from a common mesenchymal progenitor in skeletal muscle. **Journal of Cell Science**, v. 124, n. 21, p. 3654-3664, 2011.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Livestock and Poultry: World Markets and Commerce**, 2022. Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf. Acesso em: 19 set. 2022.

VENKATA REDDY, B. et al. Meat quality traits of heifer compared to beef, bull and cow in various feeding environments. **Animal Science Journal**, v. 86, n. 1, p. 1-16, jan. 2015.

WARRIS, P. The handle of cattle preslaughter and its effects on carcass and meat quality. **Applied Animal Behavior Science**, v.28, p171-186, 2000.

WHEELER, T. L.; KOOHMARAIE, M. Prerigor and postrigor changes in tenderness of ovine longissimus muscle. **Journal of Animal Science**, v. 72, n. 5, p. 1232-1238, 1994.

WOESSNER JUNIOR, J. F. 1961. The determination of hydroxyproline in tissue and protein samples containing small proportions of this amino acid. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, Miami, v. 93, p. 440-447, 1961.

WULF, D. M.; TATUM, J. D.; GREEN, R. D.; MORGAN, J. B.; GOLDEN, B. L.; SMITH, G. C. Genetic influences on longissimus palatability of beef in charolais and limousine steers and heifers. **Journal of Animal Science**, v. 74, n. 10, p. 2394-2405, 1996.

XU, M. et al. Effects of active immunization with newly modified gnRH peptides on spermatogenesis and production performance of Holstein bulls. **Reproduction Biology**, v. 99, n. 2, p. 461-472, 2018.

ZEROUALA, A. C., Stickland NC. Cattle at risk for dark-cutting beef have a higher proportion of oxidative muscle fibres. **Meat Science**; 29:263–270, 1991.

ZHANG, Y. Y.; ZAN, L. S.; WANG, H. B.; XIN, Y. P.; ADOLIGBE, C. M.; UJAN, J. A. Effect of sex on meat quality characteristics of Qinchuan cattle. **African Journal of Biotechnology**, v. 9, n. 28, p. 4504-4509, 2010.

ZILIO, D. M.; VINCENTI, F.; BALLICO, S.; FICCO, A.; JUÁREZ, M. Effect of castration and crossbreeding on meat quality traits of Maremmana beef cattle. **Italian Journal of Animal Science**, Pavia, v. 8, p. 516-518, 2009.

CAPÍTULO 2

Efeito da condição sexual e do tipo de músculo de bovinos cruzados sobre a deposição de tecido conjuntivo e gordura intramuscular, degradação miofibrilar e maciez da carne

RESUMO

Objetivou-se avaliar se a condição sexual (CS) de bovinos cruzados promove variações na deposição de tecido conjuntivo intramuscular, gordura intramuscular, degradação miofibrilar e como elas podem afetar a maciez da carne em diferentes músculos. Foram utilizados 102 bovinos Angus x Nelore, divididos em fêmeas (F), machos castrados (MC) e machos não castrados (MNC). Os animais, pertencentes ao mesmo grupo contemporâneo, foram mantidos nas mesmas condições de manejo e dieta por 150 dias e foram abatidos aos dezesseis meses de idade. Durante a desossa, foram coletadas amostras dos músculos *Longissimus thoracis* (LT) e *Triceps brachii* (TB) para as análises laboratoriais. Considerou-se um arranjo fatorial 3x2 (CS e tipo de músculo) para as variáveis força de cisalhamento (FC), perdas de peso por cocção (PPC), pH, teores de colágeno total, solúvel e insolúvel, lipídios totais e índice de fragmentação miofibrilar (IFM). Os valores de FC diferiram entre as CS, com valores mais elevados para os MNC, enquanto F e MC não diferiram entre si. A FC não foi influenciada pelo tipo de músculo. Foi observada interação entre a CS e o tipo de músculo para PPC, em que F apresentaram no LT 6,41% superiores em relação ao músculo TB. Já nos MC, as PPC no músculo TB foram 3,66% maiores em relação ao músculo LT. Nos MNC, as diferenças de PPC entre os dois músculos foi de apenas 0,9%. Quanto ao pH, não foram observadas diferenças entre as CS, mas foi verificado efeito do tipo de músculo, sendo as maiores médias observadas em TB. Os teores de colágeno total não foram alterados pelas CS. Contudo, a carne de MNC apresentou teores mais elevados de colágeno solúvel. Em relação ao tipo de músculo, observou-se maiores teores de todas as frações de colágeno no TB. Entretanto, LT apresentou maior porcentagem de solubilidade. Não houve diferença entre os tipos de músculo em relação ao teor de lipídios totais. Entretanto, foi verificada diferença entre as CS, em que os maiores teores foram verificados na carne das F, MC e MNC, respectivamente. Em relação ao IFM, não houve efeito do tipo de músculo. Contudo, foi observado efeito da CS, em que MC tiveram maior IFM, seguidos pelas F e MNC. A condição sexual influencia de forma expressiva as características de qualidade da carne, especialmente a deposição de gordura intramuscular e o IFM e as variações

no colágeno não foram capazes de explicar totalmente as diferenças na maciez da carne entre as categorias, bem como foi sutil a influência do tipo de músculo na qualidade da carne destes animais.

Palavras-chave: Castração, colágeno, força de cisalhamento, índice de fragmentação miofibrilar, marmorização.

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Embora o Brasil seja reconhecido mundialmente como um grande produtor de carne bovina, a maior parte da carne *in natura* produzida no país possui baixo valor agregado frente ao mercado internacional. O rebanho brasileiro é composto principalmente por animais zebuínos (*Bos indicus*) da raça Nelore (RODRIGUES et al., 2017), que possuem como uma de suas principais características a rusticidade (CARVALHO et al., 2014). Em sua maioria, os animais são não castrados, criados em sistema extensivo, e comumente abatidos com idade elevada (FERRAZ; FELÍCIO, 2010).

Animais *Bos indicus* possuem predisposição genética para baixa deposição de gordura intramuscular, quando comparados aos animais de origem européia, além de apresentarem alto teor de colágeno intramuscular (OLIVEIRA et al., 2011) e uma taxa reduzida de degradação das proteínas miofibrilares durante o armazenamento *post mortem*, devido maior atividade da calpastatina (WHIPPLE et al., 1990), fatores que colaboram para a maior dureza da carne destes animais.

Nesse sentido, o cruzamento entre as raças Nelore e Aberdeen Angus tornou-se um dos mais utilizados atualmente no Brasil (ASBIA, 2022), onde produtores buscam associar as características de rusticidade da raça Nelore aos atributos de precocidade e características de qualidade de carne superiores, como maior deposição de gordura subcutânea e intramuscular e carne mais macia, apresentados pela raça Angus (LAGE et al., 2012).

Além disso, outro fator importante, que pode alterar a qualidade da carne bovina, é a condição sexual dos bovinos de corte. Machos não castrados apresentam, em geral, melhor desempenho, crescimento mais rápido e maior rendimento de carcaça, com maior deposição de tecido muscular em relação às fêmeas e aos machos castrados (SEIDEMAN ET AL., 1982; FRITSCHÉ; STEINHART, 1998). Entretanto, machos não castrados, em geral, produzem carne mais dura e com menor deposição de gordura subcutânea e intramuscular (marmorização) (MUELLER, 2019).

Por outro lado, as fêmeas e os machos castrados, embora apresentem menor ganho de peso corporal quando comparados aos machos inteiros, apresentam, em geral, maior deposição de gordura subcutânea e intramuscular e produzem carne mais macia, favorecendo a padronização e a qualidade da carcaça (BERG; BUTTERFIELD, 1976). Desta forma, a estratégia de utilizar categorias de bovinos permite ao produtor a possibilidade de obtenção de produtos com diferentes características, onde machos

não castrados são mais adequados à produção de carne, com maior rendimento de carcaça, enquanto fêmeas e machos castrados podem produzir carne com qualidade diferenciada, em especial gordura e maciez (MUELLER et al., 2019).

Dentre os atributos de qualidade da carne, a maciez é um dos principais responsáveis pela satisfação do consumidor (MALHEIROS et al., 2019). Estas e outras características de qualidade podem ser afetadas por muitos fatores, como genética, sexo, manejo e propriedades intrínsecas dos músculos. A carne é composta pelos tecidos adiposo, epitelial, conjuntivo e nervoso, embora o componente principal seja o muscular (JOO et al., 2013), conseqüentemente, a variação de qualidade da carne quanto à maciez, entre outros aspectos, pode ocorrer em função do tipo e localização anatômica dos músculos, uma vez que a proporção destes tecidos varia entre eles (GOMIDE et al., 2013).

Ainda, grupos musculares distintos possuem também diferenças em seu metabolismo pré e pós abate, que podem afetar os processos enzimáticos ocorridos no músculo até sua obtenção como carne (FRYLINCK et al., 2013). De acordo com Rhee et al. (2004), a variação na maciez da carne entre diferentes músculos de uma mesma carcaça pode ser atribuída ao conteúdo de gordura e tecido conjuntivo presente e sua interação com outros fatores, como o comprimento do sarcômero e a extensão da proteólise miofibrilar *post mortem*.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar como a condição sexual de bovinos influencia a deposição de tecido conjuntivo intramuscular, gordura intramuscular, degradação miofibrilar e maciez da carne em diferentes músculos.

2.2 Objetivos específicos

- Comparar a maciez da carne de bovinos Angus x Nelore de diferentes condições sexuais (machos não castrados, machos castrados e fêmeas) em diferentes músculos (*Longissimus thoracis* e *Triceps brachii*);
- Verificar as proporções de colágeno total e suas frações solúvel e insolúvel nos dois músculos nas três condições sexuais;
- Verificar o conteúdo de lipídios totais nos dois músculos nas três condições sexuais;

- Avaliar o índice de fragmentação miofibrilar nos dois músculos nas três condições sexuais;
- Determinar se a condição sexual, o tipo de músculo e suas interações influenciam a maciez da carne por meio das variações no conteúdo de colágeno e gordura intramuscular e do índice de fragmentação miofibrilar.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (FMVZ/USP) sob o protocolo CEUA nº 8761110220.

3.1 Instalações, manejo dos animais e dietas

Os animais foram confinados na Fazenda Letícia, localizada na cidade de Rio Verde de Mato Grosso - MS, sendo utilizados 102 bovinos cruzados Angus x Nelore com idade média de abate de 16 meses, do mesmo grupo contemporâneo, divididos em machos não castrados ($n = 34$), machos castrados ($n = 34$) e fêmeas ($n = 34$), pertencentes ao Programa de Certificação de Carne Angus no Brasil (Figura 1).

Figura 1. Grupo experimental de bovinos cruzados Angus X Nelore em confinamento comercial.



Fonte: Registro do Laboratório Ciência da Carne (LCC/FMVZ/USP).

A castração dos animais do tratamento “machos castrados” foi realizada aos nove meses de idade, pela técnica cirúrgica de orquiectomia bilateral por método fechado (PADUA, 2003), com aplicação de 10 ml de anestésico local (Lidocaína) por testículo. Durante o procedimento do pós-operatório foi aplicado anti-inflamatório não esteroideal (Flunixinina Meglumina) em dose única de 2,2 mg/kg de peso vivo. Os animais foram previamente adaptados à dieta por oito dias, antes do início do experimento, e o concentrado foi inicialmente ofertado considerando-se 1,6% do peso

vivo, sendo aumentado gradativamente, como usualmente realizado em fazendas comerciais. Durante a recria, os animais já recebiam suplemento proteico a pasto, desde o nascimento (*creep feeding*).

A fazenda dispunha de 94 animais de cada condição sexual, os quais foram individualmente pesados para determinação dos 34 animais que compuseram cada tratamento. Após a pesagem, calculou-se o peso médio de cada condição sexual e foram selecionados, dentro de cada tratamento, 34 animais com o peso vivo mais próximo do peso médio de sua respectiva condição sexual. O peso vivo médio de entrada dos animais no confinamento foi de $231,8 \pm 8,8$ kg para as novilhas, $227,6 \pm 12,1$ kg para os machos castrados e $239,6 \pm 14,8$ kg para os machos não castrados.

Durante o período experimental, os animais foram mantidos nas mesmas condições de manejo, pesados, desverminados, vacinados (clostridioses e aftosa), identificados individualmente em relação aos tratamentos e mantidos em baias de 37m^2 por animal, com cochos e bebedouros, recebendo alimentação *ad libitum* com a mesma dieta.

A ração utilizada durante o período de confinamento de 150 dias foi formulada segundo as exigências do *National Research Council* (NRC 2016), adaptado às condições tropicais, calculadas pelo Programa RLM 3.2®. A composição da ração foi de 86% de concentrado e 14% de volumoso na matéria seca (Tabela 1), tendo como alimento volumoso feno de *Brachiaria*, e oferecida ao longo do dia, totalizando três tratos.

Tabela 1 - Composição percentual das dietas (na matéria seca).

Ingrediente (% matéria seca)	Terminação
Milho grão moído fino	55,0
Melaço líquido	17,0
Feno	14,0
Farelo de milho 48%	9,5
Núcleo mineral ¹	3,0
Uréia pecuária	0,75
Prote-n ²	0,75
Nutriente (%MS)	Níveis nutricionais
MS (%)	86,27
Pb	15,83
Ee	3,49
Carboidratos não fibrosos ³	8,35
Cálcio	0,82
Fósforo	0,29
Potássio	1,16
Monensina (ppm)	25,0

Fonte: elaborada pela autora (2023).

¹Cloreto calcítico, cloreto de sódio, enxofre, veículo, fosfato monobicálcico, óxido de magnésio, aroma de frutas, extrato de semente de uva, iodato de cálcio, monensina sódica, monóxido de manganês, óxido de zinco, selenito de sódio, sulfato de cobalto, sulfato de cobre, sulfato de ferro, vitamina A, vitamina D3, vitamina E.

²Uréia pecuária, oleoresina de páprica e veículo.

³Amido, sacarose e pectina.

Calculada pelo Programa Ração de Lucro Máximo 3.2® (RLM) ESALQ/USP.

Ao final do período experimental, o peso vivo final e o ganho médio diário dos animais foram, respectivamente, $431,3 \pm 26,5$ kg e $1,31 \pm 0,16$ kg para as novilhas, $452,4 \pm 30,9$ kg e $1,47 \pm 0,13$ kg para os machos castrados e $487,9 \pm 25,1$ kg e $1,62 \pm 0,17$ kg para os machos não castrados. Os animais foram transportados até o frigorífico comercial sob Serviço de Inspeção Federal (SIF), separados de acordo com as condições sexuais, a fim de não ocorrer mistura de lotes.

3.2 Abate, desossa e coleta de amostras

No frigorífico, os animais permaneceram separados nos currais de espera de acordo com as condições sexuais, e foram submetidos ao jejum sólido de 16 horas, tendo acesso à dieta hídrica até o momento do abate. O abate foi realizado de acordo com os procedimentos de abate humanitário, seguindo os padrões do Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal – RIISPOA (BRASIL, 2017) e o Regulamento Técnico de Métodos de Insensibilização para o Abate Humanitário de Animais de Açougue (BRASIL, 2000), em frigorífico Comercial, sob fiscalização do Serviço de Inspeção Federal (SIF 1646).

Os bovinos foram insensibilizados por meio de atordoamento com pistola pneumática penetrante, seguido imediatamente da sangria pela secção dos grandes

vasos do pescoço e em seguida foi realizada a esfolação, evisceração e lavagem das carcaças, que foram resfriadas por 48 horas. Posteriormente, as carcaças foram transportadas em caminhão frigorífico refrigerado para Unidade de Beneficiamento de Carnes (SIF 3537), em Pirassununga - SP, onde foi realizada a desossa.

Durante a desossa, foram coletadas de todos os animais amostras de 2,54 cm dos músculos *Longissimus thoracis* e *Triceps brachii* para as análises de força de cisalhamento, perdas de peso por cocção e pH, e amostras de 1 cm, dos mesmos músculos, para as análises de índice de fragmentação miofibrilar, quantificação do teor de colágeno e suas frações e quantificação de lipídios totais. As amostras coletadas foram identificadas, embaladas a vácuo individualmente em sacos de polietileno (Cryovac®, Charlotte, NC, EUA) e congeladas para as análises laboratoriais, conforme metodologias descritas a seguir.

3.3 pH

Foi determinado o pH dos músculos *Longissimus thoracis* e *Triceps brachii* após as amostras serem retiradas de suas embalagens para as análises de força de cisalhamento e perdas de peso por cocção, utilizando-se um medidor de pH digital com sonda de penetração (modelo HI 99163, Hanna Instruments Inc®, Woonsocket, RI, EUA).

3.4 Força de cisalhamento

Para as análises de força de cisalhamento, foram utilizadas amostras de 2,54 cm dos músculos *Longissimus thoracis* e *Triceps brachii* de todos os animais, totalizando 204 amostras. Os procedimentos para cocção dos bifés destinados à análise de força de cisalhamento foram realizados segundo AMSA (2016). As amostras foram descongeladas em refrigerador doméstico por 24 horas e assadas em forno elétrico a 163 °C, até atingirem a temperatura interna de 71 °C; as temperaturas internas foram monitoradas por meio de um sistema de termopares digitais com termômetros individuais, que foram inseridos nos bifés até sua parte central.

Após serem assados e esfriarem até atingir a temperatura ambiente, os bifés foram embalados individualmente e acondicionados em refrigerador doméstico por 24 horas. Posteriormente, foram retirados de cada bife seis cilindros de 13 mm de diâmetro na direção das fibras musculares, por meio de um vazador elétrico. A análise de maciez objetiva foi realizada com equipamento texturômetro (modelo CT-3 Texture

Analyser, AMETEK Brookfield®, Middleborough, MA, EUA), equipado com lâmina Warner-Bratzler, e a força de cisalhamento foi determinada pela média dos seis cilindros (WHEELER; SHACKELFORD; KOOHMARAIE, 2005).

3.5 Perdas de peso por cocção

Os dados necessários para o cálculo de perdas de peso por cocção foram coletados durante a preparação das amostras de carne para as análises de força de cisalhamento, onde as amostras foram individualmente colocadas em bandejas de alumínio previamente taradas e pesadas, antes e após o cozimento. A perda de peso total pela cocção foi determinada pela diferença de peso da amostra antes e depois de seu cozimento, e expressa em porcentagem (HONIKEL, 1998).

3.6 Colágeno total, solúvel e insolúvel

Para a quantificação do colágeno total e suas frações, foram selecionadas 10 amostras do músculo *Longissimus thoracis* (LT) e 10 amostras do músculo *Triceps brachii* (TB) de cada condição sexual, totalizando, portanto, 60 amostras. As amostras foram selecionadas a partir dos resultados das análises de força de cisalhamento, selecionando-se dentro de cada tratamento, as 10 amostras que apresentaram os valores mais discrepantes para a maciez. Assim, foram selecionadas, para as fêmeas: 5 amostras do músculo LT com valores de FC acima de 71,71 N e 5 amostras do mesmo músculo com valores abaixo de 66,93 N, e 5 amostras do músculo TB com valores de FC acima de 70,65 N e 5 amostras do mesmo músculo com valores abaixo de 66,44 N; para os machos castrados, foram selecionadas: 5 amostras do músculo LT com valores de FC acima de 68,79 N e 5 amostras do mesmo músculo com valores abaixo de 64,28 N, e 5 amostras do músculo TB com valores de FC acima de 67,52 N e 5 amostras do mesmo músculo com valores abaixo de 63,21 N; e, para os machos não castrados, foram selecionadas: 5 amostras do músculo LT com valores de FC acima de 90,84 N e 5 amostras do mesmo músculo com valores abaixo de 86,14 N, e 5 amostras do músculo TB com valores de FC acima de 73,69 N e 5 amostras do mesmo músculo com valores abaixo de 69,48 N.

O colágeno e suas frações foram quantificados pela determinação do aminoácido hidroxiprolina, segundo metodologia proposta por Woessner Junior (1961). Para a extração, foram utilizadas amostras de 1,5 g do músculo *Longissimus thoracis* previamente liofilizadas. Posteriormente, as amostras de sobrenadante e

resíduo foram submetidas à digestão em estufa de circulação de ar (CROSS et al., 1973) e, após a digestão, as amostras foram filtradas para posterior ajuste do pH (6,5 a 7,0) e diluição.

A leitura de cada amostra foi realizada em duplicata, bem como a leitura dos pontos da curva de concentração de hidroxiprolina, em espectrofotômetro no comprimento de onda de 560 nm. Os valores de colágeno total, solúvel e insolúvel foram calculados considerando a inclinação da curva padrão de absorbância, os fatores de conversão de 7,52 para o sobrenadante e 7,25 para o sedimento, a quantidade de músculo utilizado (considerando o peso da amostra liofilizada utilizada na análise e o percentual de matéria seca do músculo, obtido através da pesagem da amostra antes e após a liofilização) e o volume das diluições. O sobrenadante corresponde à fração de colágeno solúvel e o sedimento, à fração de colágeno insolúvel, em mg/g de carne *in natura*, e o teor de colágeno total foi definido pela soma dos dois. A porcentagem de solubilidade foi calculada a partir da razão do colágeno presente na fração sobrenadante e o colágeno total.

3.7 Lipídios totais

Para a análise do teor de lipídios totais, utilizou-se o mesmo critério de seleção das amostras que foram utilizadas nas análises de colágeno, sendo também utilizadas, o total de 60 amostras. A determinação do teor de lipídios totais foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Bligh e Dyer (1959).

Foram utilizadas amostras de 3 g de carne *in natura* triturada. As amostras foram homogeneizadas e os recipientes com as amostras foram fechados hermeticamente e levados à mesa agitadora, posteriormente, os recipientes foram deixados em descanso para que as camadas se separassem naturalmente, e então, com o auxílio de uma seringa de vidro, foi retirado o conteúdo da camada inferior (clorofórmio + gordura) e depositado em um tubo de vidro.

Na etapa seguinte, os tubos foram agitados em vórtex e, em seguida, o conteúdo foi filtrado utilizando-se papel filtro. Posteriormente, 5 mL do filtrado foram depositados em um Becker, e então levados à estufa a 105 °C *overnight*, após serem retirados da estufa, os Beckers foram acondicionados em dessecador por 20 minutos para esfriarem. Então, para determinar a quantidade de gordura na amostra e os gramas de lipídios em 100 g de carne, foram feitos os seguintes cálculos:

$$\text{Gordura na amostra} = \frac{((\text{Peso do Becker com gordura} - \text{Peso do Becker vazio}) \times 4)}{\text{Peso da amostra}}$$

$$\text{Gramas de lipídios/100 g de carne} = \text{Gordura na amostra} \times 100$$

3.8 Índice de fragmentação miofibrilar

Para a determinação do índice de fragmentação miofibrilar (IFM), foram utilizadas as mesmas amostras utilizadas nas análises de quantificação das frações de colágeno e quantificação de lipídios totais (total de 60 amostras). O IFM foi determinado de acordo com a metodologia proposta por Culler et al. (1978).

Foram utilizadas amostras de 3 g de carne *in natura*, cujo excesso de gordura e tecido conjuntivo foi previamente removido com o auxílio de uma lâmina de bisturi. As amostras foram homogeneizadas, centrifugadas, e novamente homogeneizadas com o auxílio de um bastão de vidro, e a suspensão obtida foi passada através de peneira de polietileno para remoção do tecido conectivo.

Na suspensão de miofibrilas, foi determinada a concentração de proteína pelo método de biureto, descrito por Gornall et al. (1949). Uma alíquota da suspensão de miofibrilas foi diluída com a solução de extração até uma concentração proteica de $0,5 \pm 0,05$ mg/mL. A suspensão diluída de miofibrilas foi agitada em vórtex e colocada na cubeta, sendo logo em seguida feita a leitura da densidade óptica a 540 nm em espectrofotômetro. O IFM foi obtido multiplicando-se por 200 o valor verificado de densidade óptica.

3.9 Análise estatística

Os efeitos da condição sexual e tipo de músculo para as variáveis força de cisalhamento, perdas de peso por cocção, pH, teor de lipídios totais, teor de colágeno total, solúvel e insolúvel e índice de fragmentação miofibrilar, foram analisados considerando um delineamento experimental inteiramente casualizado em um arranjo fatorial 3x2, sendo os efeitos fixos a condição sexual (machos não castrados, machos castrados e fêmeas), os tipos de músculo (*Longissimus thoracis* e *Triceps brachii*) e suas interações, os efeitos aleatórios do animal e o erro residual. Os resultados foram verificados quanto à presença de dados discrepantes, pressupostos de normalidade de erros e homogeneidade das variâncias, e então os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando-se o procedimento MIXED do software SAS®

sendo as médias dos resultados foram comparadas pelo teste de Tukey e a significância foi declarada quando $P \leq 0,05$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises de pH, perdas de peso por cocção (PPC) e força de cisalhamento (FC) dos dois tipos de músculo das três condições sexuais (CS) encontram-se na Tabela 2. Para o pH, não houve interação entre o tipo de músculo e a CS, bem como não houve efeito da CS. No entanto, observou-se diferença entre o pH dos dois músculos ($P = <0,0001$). Os valores de pH apresentados pelos músculos *Longissimus thoracis* (LT) e *Triceps brachii* (TB) foram 5,43 e 5,56, respectivamente.

Diferenças metabólicas entre os músculos podem resultar em pHs finais distintos. Segundo Frylinck et al. (2013), considerando-se que após o abate do animal, o metabolismo anaeróbico se inicia a fim de fornecer energia para a manutenção da função celular, a maior proporção de fibras oxidativas pode estar associada à carne com pH final mais elevado, devido ao baixo conteúdo de glicogênio, enquanto músculos compostos por fibras glicolíticas e que possuem elevado estoque de glicogênio, apresentam pH final mais baixo, devido à utilização deste substrato para obtenção de energia e consequente produção de lactato, que contribui para o declínio do pH muscular. Em adição, Geesink et al. (1995) observaram que o músculo TB é composto predominantemente por fibras oxidativas e, LT, por fibras glicolíticas. Desta forma, os resultados verificados nos estudos de Frylinck et al. (2013) e Geesink et al. (1995) justificam os valores de pH verificados em nosso estudo para estes dois músculos, visto que TB apresentou valor de pH superior ao LT (5,56 e 5,43, respectivamente).

De acordo com Voisinet et al. (1997), a carne de bovinos MNC pode apresentar maiores valores de pH em comparação com as carnes das outras duas categorias em decorrência da maior suscetibilidade ao estresse desses animais, o que leva ao maior consumo do glicogênio muscular. No entanto, em nosso estudo, não foram verificadas diferenças entre o pH das carnes de F, MC e MNC, o que permite destacar as boas práticas de manejo pré-abate adotadas durante o experimento, somadas ao fato de os animais terem sido terminados em confinamento e, portanto, adaptados ao manejo diário, o que torna o manejo pré-abate menos estressante. Ressalta-se também, neste estudo, que todos os valores médios de pH obtidos nos dois músculos das três CS foram menores que 5,79 (o maior valor médio verificado foi 5,57, no músculo TB de

MNC), valor considerado como limite máximo desejável para a carne bovina, de acordo com a classificação de Lomiwes et al. (2014).

Para PPC, foi verificada interação entre a CS e o tipo de músculo ($P = <0,0001$). Nas F, as PPC no músculo LT (28,34%) foram 6,41% maiores em relação ao músculo TB (21,93%). Já nos MC, as PPC no músculo TB (29,01%) foram 3,66% maiores em relação ao músculo LT (25,35%). Nos MNC, as diferenças de PPC entre os dois músculos foi de apenas 0,9%, e em ambos os músculos foram verificados valores de PPC maiores que 30%, sendo estes valores superiores àqueles nos dois músculos das outras duas categorias. No entanto, o intervalo normal determinado por Muchenje et al. (2009) para esta variável, na carne bovina, é de 13,1% a 34,54% e todos os valores de PPC neste estudo foram considerados como normais.

As PPC ocorrem devido às mudanças estruturais da carne com o seu cozimento, o que determina diminuição da capacidade de retenção de água, devido às alterações nas proteínas e gordura por efeito do calor (TORNBERG, 2005). Como a maior parte da água do músculo se encontra entre as miofibrilas actina e miosina (OFFER et al., 1989), as variações nas PPC observadas principalmente nas carnes de F e MC, podem ser devidas às mudanças estruturais na disposição das miofibrilas, uma vez que estas categorias (F e MC) apresentam, em geral, maior índice de degradação miofibrilar após o abate quando comparadas aos MNC, o que pode ter determinado alterações na distribuição da água presente na carne. Contudo, ao avaliar as PPC nas carnes de bovinos cruzados machos não castrados, cirurgicamente castrados e imunocastrados, Miguel et al. (2014) não observaram diferenças, inferindo que a CS não influenciou essa característica.

Destaca-se, portanto, em nosso estudo, o efeito de interação do tipo de músculo com a CS dos animais, nos permitindo pressupor que, nas F, o músculo LT é mais suscetível às alterações na estrutura muscular, por efeito do calor durante o cozimento e, nos MC, a maior suscetibilidade é atribuída ao músculo TB. Já, nos MNC, não ocorrem, aparentemente, modificações na estrutura dos dois tipos de músculo, durante o cozimento, suficientes para afetar esta característica. Isto pode se justificar pela quantidade de gordura intramuscular depositada e pelo índice de fragmentação miofibrilar (IFM) (Tabelas 4 e 5). Embora as diferenças tenham sido sutis, nas F, o maior teor de lipídeos totais foi verificado no músculo LT e, nos MC, o maior teor foi verificado no músculo TB, enquanto os MNC apresentaram os menores teores em ambos os músculos, quando comparados às demais categorias; de igual maneira, o

maior IFM, nas F, foi observado no músculo LT e, nos MC, no músculo TB, enquanto MNC apresentaram o menor IFM nos dois músculos, quando comparados às demais CS.

Em relação à FC, não foi observada interação entre a CS e o tipo de músculo, bem como não se verificou diferença ($P \leq 0,05$) entre os dois músculos. Contudo, verificou-se diferença ($P = 0,02$) na FC entre as CS. F e MC apresentaram carne mais macia (66,46 N e 64,37 N, respectivamente), não diferindo entre si, enquanto os maiores valores de FC foram atribuídos aos MNC (81,5 N). Os resultados do nosso estudo se assemelham àqueles observados por Mueller et al. (2019), que descreveram que a maciez da carne de MC foi similar à maciez da carne das F, e que a carne de MNC foi considerada dura quando comparada às carnes de MC e F.

Estes resultados podem ser explicados pelas diferenças na composição do tecido muscular e da carne de bovinos de diferentes CS. Em geral, bovinos MNC apresentam carcaça mais magra e carne mais dura quando comparados com as F e os MC, devido à maior atividade anabólica da testosterona, que aumenta a atividade de calpastatina, relacionada com o maior desenvolvimento do tecido muscular nestes animais. Após o abate, a alta concentração de calpastatina inibe a atividade das calpaínas, principais enzimas responsáveis pela degradação das fibras musculares e amaciamento da carne, o que torna a carne dos animais não castrados mais dura (WULF et al., 1996; O'CONNOR et al., 1997).

O tecido muscular dos machos e suas características, devido ao processo de castração e redução da atividade da testosterona refletem diretamente nos atributos de qualidade da carne e assemelham-se às fêmeas, com uma maior percentagem de gordura intramuscular, o que colabora com a sensação de maciez e suculência da carne. Embora seja descrito que a contribuição da gordura intramuscular para a maciez objetiva da carne seja baixa, em torno de 9%, segundo Jones e Tatum (1994), esta é uma contribuição que pode ser significativa principalmente quando associada a outros fatores, como a taxa de degradação miofibrilar e o conteúdo de tecido conjuntivo intramuscular.

De acordo com Seideman et al. (1989), além do maior depósito de tecido adiposo, o menor número e diâmetro das fibras musculares e, ainda, o menor teor de colágeno intramuscular podem explicar a maior maciez da carne das fêmeas. Desta forma, as alterações na estrutura muscular promovidas pela castração, explicam o

fato de a carne de MC ter apresentado maciez similar à carne das F, conforme observado no estudo de Mueller et al. (2019) e no presente estudo.

Não foi observada, no presente estudo, influência do tipo de músculo sobre a FC da carne de bovinos cruzados. Para Archile-Contreras et al. (2010), podem ser verificadas diferenças na FC de músculos com localização anatômica e funções fisiológicas distintas, em que, de modo geral, os músculos da locomoção apresentam maiores valores de FC, devido ao maior esforço físico exercido. Entretanto, os nossos resultados condizem com aqueles verificados por Hildrum et al. (2009), que também não verificaram diferenças na FC dos músculos *Longissimus* e *Tríceps*, assim como de outros músculos avaliados. Adicionalmente, em estudos mais recentes, Gagaoua et al. (2017) e Picard et al. (2017) classificaram estes dois músculos como oxidoglicolíticos de metabolismo misto e Picard et al. (2018), ao avaliar biomarcadores proteômicos de maciez da carne e gordura intramuscular em cinco diferentes músculos, verificaram alta similaridade nas abundâncias de proteínas entre LT e TB.

Os resultados descritos por Gagaoua et al. (2017), Picard et al. (2017) e Picard et al. (2018) podem auxiliar a explicar o fato de não terem sido verificadas, em nosso estudo, diferenças na maciez dos músculos LT e TB, já que, embora pertençam a regiões anatômicas diferentes e desempenhem funções distintas, estes músculos apresentam, aparentemente, metabolismo semelhante. Embora LT e TB tenham apresentado, em nosso estudo, pHs finais distintos, um indicativo de diferenças no metabolismo muscular, as possíveis diferenças metabólicas entre estes músculos e as variações nos valores de pH não foram acentuadas o suficiente para afetar a maciez da carne, o que é compreensível, uma vez que as diferenças nos valores de pH foram pequenas (5,43 para LT e 5,56 para TB) e ambos os valores encontram-se abaixo do limite desejável (5,79), de acordo com Lomiwes et al. (2014).

Ressalta-se, neste estudo, que nenhuma das médias de FC obtidas dos músculos maturados por dois dias, das três condições sexuais (68,84 N para TB e 72,72 N para LT; e 66,46 N para F, 64,37 N para MC e 81,5 N para MNC), atingiu o limiar americano para maciez da carne, que é de 43,1 N (ASTM, 2011) e nenhum dos resultados de FC desta pesquisa está abaixo deste limiar, o que demonstra que as carnes das três CS nos dois músculos avaliados seriam consideradas duras, para o consumidor americano de carne. No entanto, cabe destacar que o padrão americano pode não ser correspondente à sensibilidade do consumidor brasileiro, o que indica

necessidade de se instituir um padrão brasileiro para maciez da carne (GARBOSSA, 2021).

Tabela 2 – pH, perdas de peso por cocção e força de cisalhamento dos músculos *Triceps brachii* e *Longissimus thoracis* de bovinos Angus x Nelore de diferentes condições sexuais (F, MC e MNC) terminados em confinamento.

Variável	Músculo	Condição Sexual			Média	EPM	Valor de P		
		F	MC	MNC			CS	M	CS*M
pH	TB	5,540	5,570	5,570	5,560a	0,018	0,726	<0,0001	0,888
	LT	5,430	5,430	5,450	5,436b	0,018			
	Média	5,485	5,500	5,510					
	EPM	0,022	0,022	0,022					
PPC (%)	TB	21,933Bb	29,011Aa	30,051Aa	26,998	0,551	<0,0001	0,258	<0,0001
	LT	28,345Ba	25,351Cb	30,022Aa	27,906	0,571			
	Média	25,139	27,181	30,036					
	EPM	0,694	0,675	0,694					
FC (N)	TB	67,130	66,091	73,304	68,842	0,288	0,002	0,335	0,093
	LT	65,807	62,661	89,699	72,722	0,288			
	Média	66,468B	64,376B	81,501A					
	EPM	0,353	0,353	0,353					

Fonte: elaborada pela autora (2023).

FC: Força de Cisalhamento; N: Newtons; PPC: Perdas de Peso por Cocção; TB: Músculo *Triceps brachii*; LT: Músculo *Longissimus thoracis*; EPM: Erro Padrão da Média; F: Fêmeas; MC: Machos castrados; MNC: Machos não castrados; CS: Condição sexual; M: Músculo; CS*M: Interação entre condição sexual e músculo.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Em relação ao perfil de colágeno, não houve interação entre a CS e o tipo de músculo para o teor de colágeno total, bem como a CS não influenciou esta característica (Tabela 3). Contudo, observou-se diferença ($P < 0,0001$) para os teores de colágeno total entre os músculos LT e TB, correspondendo a 1,43 mg/g e 2,23 mg/g, respectivamente.

Os valores de colágeno intramuscular total verificados neste estudo também foram descritos por Geesink et al. (1995), que atribuíram maior quantidade de fibras conjuntivas de colágeno à músculos com maior funcionalidade. Para estes autores, o papel fisiológico do músculo influencia a quantidade e a solubilidade do tecido conjuntivo, uma vez que cada músculo é estruturalmente e metabolicamente diferente e, para Taylor (2004), músculos da locomoção, como TB, normalmente apresentam

maior teor de colágeno total que músculos de sustentação, como LT, pois exercem maior esforço físico.

Em relação às frações de colágeno solúvel e insolúvel, não foi verificada interação ($P \leq 0,05$) entre o tipo de músculo e a CS. Porém, houve efeito do tipo de músculo sobre os teores de colágeno solúvel e insolúvel e efeito da CS sobre o teor de colágeno solúvel. O músculo TB apresentou maior teor de colágeno solúvel por g de carne em comparação ao LT, correspondendo a 0,41 mg/g e 0,26 mg/g, respectivamente. Entretanto, ressalta-se que o teor de colágeno total, por g de carne do músculo TB, assim como suas frações solúvel e insolúvel, foi maior do que o do músculo LT. Portanto, quando calculada a fração de colágeno solúvel em relação ao conteúdo de colágeno total dos dois músculos, verificou-se que TB obteve 18,5% de solubilidade e LT, 18,68%.

Estes resultados condizem com àqueles relatados por Archile-Contreras et al. (2010), que descreveram que músculos de locomoção, como o TB, apresentam, em geral, menor porcentagem de colágeno solúvel ao calor que músculos de sustentação, como o LT. Segundo estes autores, as diferenças estruturais e metabólicas entre os músculos refletem seu alto grau de especialização funcional, que, por sua vez, sugere plasticidade e capacidade de adaptação, de acordo com a função a ser executada. Nesse sentido, os músculos da locomoção apresentam, em geral, maior teor de colágeno total e insolúvel ao calor do que músculos da sustentação, que desempenham menor esforço.

Ao avaliar o teor de solubilidade do colágeno intramuscular entre CS, verificou-se que os maiores teores de colágeno solúvel e as maiores porcentagens de solubilidade foram atribuídas à carne dos MNC (0,39 mg/g e 19,85%), MC (0,33 mg/g e 18,41%) e F (0,29 mg/g e 17,21%), respectivamente. Por outro lado, Burson et al. (1986) e Gerrard et al. (1987) observaram que é esperado que animais não castrados apresentem menor concentração de colágeno solúvel no tecido conjuntivo, uma vez que há maior desenvolvimento da massa muscular nestes animais.

Todavia, os menores teores de solubilidade frequentemente verificados nas carnes de MNC podem se justificar principalmente pela maturidade fisiológica deste tecido, tendo em vista que esta categoria animal geralmente é abatida com idade mais elevada (FERRAZ; FELÍCIO, 2010). Ressalta-se que a idade é um dos principais fatores que alteram a maciez da carne, por meio da formação das ligações covalentes cruzadas, que se tornam mais difíceis de romper (LATORRE et al., 2017).

Deve-se considerar, ainda, que o crescimento muscular devido à hipertrofia das fibras musculares possui efeito sobre a solubilidade do colágeno, uma vez que o rápido crescimento acarreta uma constante remodelação e expansão do endomísio e perimísio, a fim de acompanhar o crescimento das fibras (PURSLOW, 2018). Sendo assim, pressupõe-se que a carne de MNC possui maior solubilidade térmica do colágeno intramuscular, devido ao maior *turnover* proteico, uma vez que o colágeno recém-sintetizado é termolábil e este acompanha a curva de crescimento muscular, que foi mais acentuada nesta categoria.

A menor porcentagem de solubilidade do colágeno intramuscular foi verificada na carne de F (17,21%), seguidas pelos MC (18,41%) e MNC (19,85%), diferentemente do que foi verificado por Seideman et al. (1982), que observaram maior teor de colágeno solúvel nas carnes de fêmeas em relação aos machos. Nossos resultados podem ser explicados pela maior precocidade das fêmeas e consequente maturidade do tecido conjuntivo intramuscular, que pode ter ocorrido mais precocemente que nos machos, uma vez que, segundo Purchas (1991), fêmeas atingem o ponto de abate mais cedo que os machos castrados que, por sua vez, terminam mais cedo que machos não castrados.

Ressalta-se que os animais deste estudo foram terminados em sistema intensivo e alimentados com dieta altamente energética, fatores estes relacionados à maior solubilização do colágeno intramuscular, além de terem sido abatidos em idade jovem, com média de 16 meses. Portanto, não houve influência da idade e de longos períodos de exercício físico sobre a solubilidade do colágeno. Estes fatores podem ter corroborado para que se sobressaísse os efeitos da precocidade das F e consequente maturidade do colágeno intramuscular, além do maior *turnover* proteico presente nos MNC e consequente solubilização do colágeno intramuscular nesses animais.

Ao comparar, portanto, os resultados verificados para as variáveis FC e colágeno total, solúvel e insolúvel, entre CS e nos dois músculos, notou-se que, neste estudo, as alterações quanto ao perfil de colágeno intramuscular decorrentes da condição sexual não foram capazes de justificar completamente as diferenças na maciez da carne de MNC, MC e F, tendo em vista que MNC apresentaram maior FC, o que corresponde à uma carne mais dura e obtiveram também a maior porcentagem de solubilidade do colágeno, quando comparados com as demais categorias, contradizendo os relatos de que a maior solubilidade do colágeno intramuscular contribui para uma carne mais macia. Diante disso, considera-se que outros fatores,

como a deposição de gordura intramuscular (embora sua contribuição para a maciez da carne seja menor) e principalmente a degradação miofibrilar, podem estar mais intimamente associados com o amaciamento da carne de bovinos cruzados abatidos em idade jovem.

Ainda, em relação ao efeito do tipo de músculo, embora TB e LT tenham apresentado diferenças quanto ao perfil de colágeno, em que TB apresentou maior teor de colágeno total e menor porcentagem de solubilidade, estes músculos não diferiram quanto à FC, o que denota, mais uma vez, a existência de demais fatores inerentes à estrutura muscular que podem melhor predizer as variações na maciez de diferentes cortes cárneos, como metabolismo *post mortem* e intensidade da degradação miofibrilar.

Adicionalmente, diante dos diversos resultados divergentes encontrados na literatura quanto à maciez de diferentes músculos, Chriki et al. (2013) conduziram uma meta-análise, baseada nas informações disponíveis no banco de dados BIF-Beef (Integrated and Functional Biology of Beef), com o objetivo de elucidar como algumas características musculares se relacionam com a qualidade da carne, a fim de avançar além dos resultados controversos disponíveis na literatura. Segundo os autores, verificou-se que o conteúdo de colágeno e gordura intramuscular, a área média transversal das fibras musculares e a atividade das enzimas lactato desidrogenase e isocitrato desidrogenase, que se relacionam com o metabolismo *post mortem* que, como se sabe, pode variar em função do tipo de músculo, explicavam em porcentagens distintas a variabilidade na maciez de diferentes músculos de vacas e touros jovens.

Desta forma, foi demonstrado que um só componente da estrutura muscular pode não ser um preditor de qualidade para todos os músculos da carcaça, uma vez que de acordo com o tipo de músculo considerado, a maciez da carne pode ser explicada por diferentes características, permitindo a compreensão das muitas contradições encontradas na literatura sobre as relações entre a qualidade bioquímica e sensorial da carne.

Tabela 3 - Quantificação de colágeno total, solúvel e insolúvel nos músculos *Triceps brachii* e *Longissimus thoracis* de bovinos Angus x Nelore, de diferentes condições sexuais (F, MC e MNC) terminados em confinamento.

Variável	Músculo	Condição Sexual			Média	EPM	Valor de P		
		F	MC	MNC			CS	M	CS*M
Colágeno	TB	2,221	2,036	2,439	2,232a	0,079	0,137	<0,0001	0,151
Total	LT	1,217	1,547	1,538	1,434b	0,079			
(mg/g)	Média	1,719	1,792	1,989					
	EPM	0,097	0,097	0,097					
Colágeno	TB	0,373	0,379	0,487	0,413a	0,014	0,001	<0,0001	0,256
Solúvel	LT	0,220	0,282	0,304	0,268b	0,014			
(mg/g)	Média	0,296C	0,330B	0,395A					
	EPM	0,018	0,018	0,018					
Colágeno	TB	1,848	1,657	1,953	1,819a	0,067	0,318	<0,0001	0,139
Insolúvel	LT	0,997	1,266	1,234	1,166b	0,067			
(mg/g)	Média	1,423	1,461	1,593					
	EPM	0,082	0,082	0,082					

Fonte: elaborada pela autora (2023).

TB: Músculo *Triceps brachii*; LT: Músculo *Longissimus thoracis*; EPM: Erro Padrão da Média; F: Fêmeas; MC: Machos castrados; MNC: Machos não castrados; CS: Condição sexual; M: Músculo; CS*M: Interação entre condição sexual e músculo.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Para o teor de lipídios totais, não foi observada interação entre o tipo de músculo e a CS, bem como não houve diferença entre os tipos de músculo. Entretanto, foi verificada diferença ($P < 0,0001$) entre as CS, em que os maiores teores de lipídios foram verificados na carne das F (2,9 g/100g), seguidas pelos MC (2,21 g/100g) e MNC (1,43 g/100g) (Tabela 4).

Os valores referentes aos teores de lipídios totais verificados nas carnes das F e MC, neste estudo, foram próximos aos descritos por Listrat et al. (2020) e Soret et al. (2016), que relataram percentuais de gordura intramuscular entre 2 e 4% para carnes de bovinos cruzados de diferentes condições sexuais, assim como em diferentes músculos. Já, a carne dos MNC, apresentou percentual médio de gordura intramuscular abaixo (1,43%) do relatado por Listrat et al. (2020) e Soret et al. (2016), se assemelhando com os resultados descritos por Vaz et al. (2001), que verificaram teores de extrato etéreo de 1,73 g/100g e 2,88 g/100g em carnes de animais cruzados MNC e MC, respectivamente.

Gamarra et al. (2018) também verificaram diferentes percentuais de gordura intramuscular em carnes de bovinos de diferentes categorias, sugerindo um possível efeito dos hormônios sexuais sobre os sistemas enzimáticos e metabolismo lipídico, afetando, conseqüentemente, o depósito de gordura intramuscular. Segundo Bjorntorp (1997), a testosterona e o hormônio do crescimento (GH) inibem a lipoproteína lipase e estimulam acentuadamente a lipólise. Visto que os MNC apresentam metabolismo marcadamente regulado por estes hormônios, isto explica o menor depósito de gordura intramuscular na carne destes animais.

Posteriormente, Dieudonne et al. (2000) avaliaram efeito de hormônios sexuais esteróides (testosterona e estradiol) sobre a proliferação e diferenciação de pré-adipócitos em ratos e concluíram que a expressão dos principais fatores de transcrição responsáveis pelo desenvolvimento dos adipócitos foi estimulada pelo estradiol, mas não pela testosterona. Isto justifica o maior teor de gordura intramuscular verificado, respectivamente, nas carnes de F e MC. Os MC, após a castração, não apresentam mais ação acentuada do hormônio testosterona, conferindo, entre outras características, um maior depósito de gordura na carcaça e na carne, assemelhando-se às F. Em adição, Cho et al. (2016) analisaram a expressão proteica do tecido adiposo intramuscular de bovinos de diferentes condições sexuais e verificaram que proteínas relacionadas ao depósito deste tecido foram diferencialmente expressas de acordo com a categoria sexual, sendo mais baixos os níveis destas proteínas em animais não castrados, o que também ajuda a explicar nossos resultados.

Embora não tenham sido verificadas, neste estudo, diferenças no teor de lipídeos totais nos músculos *Longissimus* e *Triceps*, Gandemer (1999) descreveu que pode haver diferenças no metabolismo e deposição de gordura em músculos distintos devido ao seu conteúdo de organelas, principalmente mitocôndrias, e uma composição específica da classe de fosfolipídeos de membranas mitocondriais que, de acordo com este autor, são característicos de músculos com metabolismo oxidativo. Raes et al. (2004) observaram diferenças no teor de gordura intramuscular entre os músculos *Longissimus* e *Triceps*, sendo o maior teor verificado no *Longissimus*. Para estes autores, as diferenças no metabolismo muscular que demonstram o maior depósito de gordura no músculo *Longissimus*, podem ser verificadas pelo maior teor de triacilgliceróis presente neste músculo.

Contudo, é válido ressaltar que no estudo conduzido por Raes et al. (2004), os animais foram confinados com idade média de 17,5 meses e, portanto, abatidos mais velhos do que os animais deste estudo (idade média de 16 meses). Tendo em vista que a gordura, especialmente a intramuscular, se caracteriza como o último tecido a ser depositado no corpo do animal (BERG; BUTTERFIELD, 1976), o abate mais tardio pode favorecer o depósito de gordura em determinados grupos musculares. Portanto, a ausência de diferença no teor de gordura depositado nos músculos dos animais neste estudo, pode ser em função do abate precoce em que, embora tenham sido abatidos com peso e conformação de carcaça adequados, o depósito de gordura intramuscular possivelmente seria mais acentuado caso os animais tivessem sido abatidos um pouco mais velhos.

Para Tatum et al. (1982), a gordura intramuscular é responsável por apenas 3 a 10% da variação na maciez da carne bovina. No entanto, sabe-se que esta característica é de elevada importância para a suculência e sabor da carne (PICARD et al., 2019). A produção de carne com alto índice de gordura intramuscular tem sido um desafio para a pecuária de corte, especialmente quando se pretende atender expectativas de mercados mais exigentes, como o europeu, onde é necessário um percentual de aproximadamente 3 a 4% de gordura intramuscular na carne bovina para uma boa apreciação sensorial pelos consumidores (BONNET et al., 2010; HOCQUETTE et al., 2010). Desta forma, pode ser observado que o único valor médio de teor de gordura intramuscular verificado neste estudo que atingiu este percentual, foi o músculo LT de F (3,07%) o que demonstra que as carnes dos animais utilizados neste estudo, em geral, poderiam não satisfazer o paladar do consumidor europeu.

O teor de gordura intramuscular relativamente baixo (considerando-se as exigências do mercado europeu) verificado nos animais deste estudo, pode ser devido em função de seu abate precoce (média de 16 meses de idade), uma vez que a gordura intramuscular se caracteriza como um tecido cujo depósito é tardio em relação aos demais tecidos. Além disso, cabe destacar que os MC foram submetidos ao procedimento de castração aos 9 meses de idade e, de acordo com um estudo conduzido por Champagne et al. (1969), avaliando o efeito da idade de castração sobre as características de carcaça e qualidade da carne de bovinos, animais castrados aos 2 e 7 meses de idade apresentaram maior depósito de gordura intramuscular em relação aos animais castrados aos 9 meses de idade, o que pode ser explicado pelo fato de a castração antes da puberdade impor a completa

interrupção do desenvolvimento dos caracteres sexuais nos animais (EUCLIDES FILHO et al, 2001). Desta forma, prolongar o tempo de confinamento e antecipar a castração de bovinos machos podem ser alternativas viáveis no sistema produtivo para o aumento da deposição de gordura intramuscular nos animais.

Tabela 4 - Quantificação de lipídios totais nos músculos *Triceps brachii* e *Longissimus thoracis* de bovinos Angus x Nelore de diferentes condições sexuais (F, MC e MNC) terminados em confinamento.

Variável	Músculo	Condição Sexual			Média	EPM	Valor de P		
		F	MC	MNC			CS	M	CS*M
	TB	2,735	2,241	1,338	2,104	0,072	<0,0001	0,136	0,285
Lipídios Totais (g/100g)	LT	3,073	2,179	1,529	2,260	0,072			
	Média	2,904A	2,210B	1,433C					
	EPM	0,089	0,089	0,089					

Fonte: elaborada pela autora (2023).

TB: Músculo *Triceps brachii*; LT: Músculo *Longissimus thoracis*; EPM: Erro Padrão da Média; F: Fêmeas; MC: Machos castrados; MNC: Machos não castrados; CS: Condição sexual; M: Músculo; CS*M: Interação entre condição sexual e músculo.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Não houve interação entre a CS e o tipo de músculo para IFM, bem como não houve efeito do tipo de músculo sobre esta variável. Contudo, foi observado efeito da CS ($P = 0,005$). O maior IFM foi verificado nas carnes dos MC (89,07), seguidos pelas F (79,06) e MNC (71,85) (Tabela 5).

O IFM avalia a intensidade da quebra das miofibrilas em segmentos menores na linha Z ou próximos a ela durante o *post mortem* (OLSON et al., 1976), de forma que quanto maior o IFM, maior a fragmentação das miofibrilas e, portanto, mais macia é a carne, sendo o IFM uma medida correlacionada negativamente com a FC. De acordo com Culler et al. (1978), valores de IFM acima de 60 correspondem a uma carne macia, valores entre 50 e 60 correspondem à maciez moderada e valores abaixo de 50 caracterizam ausência de maciez. Desta forma, observou-se neste estudo que todas as médias de IFM obtidas corresponderam à carne macia, de acordo com a classificação de Culler et al. (1978).

A carne dos MNC apresentou menor IFM, o que sugere uma contribuição substancial da atividade de calpastatina para a menor proteólise e maior dureza da carne desta categoria. O complexo calpaína-calpastatina tem sido apontado como o principal sistema proteolítico, responsável pela degradação das miofibrilas no período *post mortem*. A calpaína participa na degradação miofibrilar durante a vida do animal

e continua ativa no músculo após o abate. No entanto, esta enzima tem sua atividade inibida pela calpastatina (GOLL et al., 2003; KOOHMARAIE, 1994). Morgan et al. (1993) também observaram menor FC e maior IFM no músculo *Longissimus dorsi* de animais castrados em comparação com aqueles não castrados. De igual maneira, Silva et al. (2019) também verificaram maiores valores de IFM e menores valores de FC na carne de bovinos castrados em relação aos não castrados após 14 dias de maturação.

Além disso, para Ouali et al. (1990), existem diferenças na taxa e extensão da proteólise *post mortem* entre grupos musculares de contração rápida e lenta em função das variações nas proporções de calpaína e calpastatina. Em concordância, Geesink (2001) observou que há correlação negativa entre atividade de calpastatina e atividade de ATPase miofibrilar, e Geesink et al. (2006) demonstraram que músculos de contração rápida (metabolismo glicolítico) apresentam maior atividade de ATPase, apresentando também, normalmente, carne mais macia devido a menor atividade da calpastatina. Adicionalmente, Koohmaraie (1996) observaram que os músculos do dianteiro contêm uma proporção maior de fibras oxidativas de contração lenta quando comparados aos músculos do traseiro, o que reflete em menor atividade de calpaínas, devido a maior atividade de calpastatina, levando à menor degradação muscular e carne mais dura.

Contudo, no presente estudo, não foram verificadas diferenças quanto ao IFM entre os músculos LT e TB, assim como não foram observadas diferenças na FC entre estes dois músculos. A ausência de diferença entre estes dois músculos para estas variáveis pode ser devido ao fato de, como descrito anteriormente, ambos serem caracterizados como oxidoglicolíticos de metabolismo misto (PICARD et al., 2018), embora pertençam a regiões anatômicas diferentes e desempenhem funções distintas.

Para Koohmaraie (1992), cerca de 80% da variação encontrada na maciez da carne está relacionada com o enfraquecimento da estrutura miofibrilar. Em adição, segundo Crouse et al. (1991), o IFM se correlaciona fortemente com avaliações de maciez sensorial e valores de FC, representando um bom indicador de maciez da carne bovina. Pode-se observar que o IFM também representou, neste estudo, um bom indicativo do amaciamento da carne, tendo em vista que os maiores valores de IFM e os menores valores de FC, nas condições sexuais, foram verificados nos MC (89,07 e 64,37 N), F (79,06 e 66,46 N) e MNC (71,85 e 81,5 N), respectivamente. Já,

em relação aos dois tipos de músculo avaliados, os valores de IFM e de FC foram muito semelhantes, não apresentando diferença, o que também demonstra que estas duas características estão intimamente relacionadas.

Tabela 5 - Índice de fragmentação miofibrilar dos músculos *Triceps brachii* e *Longissimus thoracis* de bovinos Angus x Nelore de diferentes condições sexuais (F, MC e MNC) terminados em confinamento.

Variável	Músculo	Condição Sexual			Média	EPM	Valor de P		
		F	MC	MNC			CS	M	CS*M
	TB	77,061	91,640	63,005	77,235	2,955	0,005	0,191	0,090
IFM	LT	81,071	86,515	80,707	82,764	2,955			
	Média	79,066B	89,077A	71,856C					
	EPM	3,620	3,620	3,620					

Fonte: elaborada pela autora (2023).

IFM: Índice de Fragmentação Miofibrilar; TB: Músculo *Triceps brachii*; LT: Músculo *Longissimus thoracis*; EPM: Erro Padrão da Média; F: Fêmeas; MC: Machos castrados; MNC: Machos não castrados; CS: Condição sexual; M: Músculo; CS*M: Interação entre condição sexual e músculo.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

5 CONCLUSÃO

A condição sexual e o tipo de músculo influenciam a deposição de tecido conjuntivo intramuscular, no entanto, o perfil de colágeno intramuscular pode não ser um bom preditor para a maciez da carne de bovinos cruzados jovens.

A condição sexual influencia a deposição de gordura intramuscular, o índice de fragmentação miofibrilar e a força de cisalhamento da carne. Fêmeas e machos castrados apresentam, de forma geral, características favoráveis à maciez e a outros atributos de qualidade, como maior deposição de gordura intramuscular e maior taxa de degradação miofibrilar, respectivamente, além de apresentarem carne mais macia, em relação aos machos não castrados.

6 IMPLICAÇÕES

Ressalta-se a importância de mais estudos com animais cruzados, dada sua relevância no cenário da pecuária nacional e internacional. Sugere-se a realização de estudos mais abrangentes em relação aos fatores que controlam as variações na maciez da carne destes animais, avaliando um maior número de fatores e as possíveis associações e correlações entre eles, por exemplo, o aporte de fibras musculares, bem como os processos enzimáticos envolvidos no metabolismo muscular. Ainda, uma vez que os maiores índices de fragmentação miofibrilar e teores de gordura

intramuscular foram observados em carnes mais macias, machos castrados e fêmeas, respectivamente, pode-se concluir que estas características corroboram mais significativamente para uma melhor qualidade da carne, representando, portanto, fatores que devem ser melhor investigados, a fim de permitir sua modulação para a obtenção de carne com qualidade diferenciada.

REFERÊNCIAS

AMERICAN MEAT SCIENCE ASSOCIATION (AMSA). **Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation, and Instrumental Tenderness Measurements of Meat**. 2. ed. Champaign, Illinois: AMSA, 2016. 105p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard Specification for Tenderness Marketing Claims Associated with Meat Cuts Derived from Beef**. 1. ed. West Conshohocken, Pensilvania: ASTM International, 2011. 3p.

ARCHILE-CONTRERAS, A.C.; MANDELL, I.B.; PURSLOW, P.P. Disparity of dietary effects on collagen characteristics and toughness between two beef muscles. **Meat Science**, v.86, p.491-497, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INSEMINAÇÃO ARTIFICIAL (ASBIA). **Index ASBIA 2021**. Disponível em: <<http://www.asbia.org.br/wp-content/uploads/2022/02/Index-Asbia-2021-M%C3%ADdia-3.pdf>>. Acesso em 20 set. 2022.

BERG, R.T.; BUTTERFIELD, R. M. New concepts of livestock growth. Sydney: **Sydney University Press**, p. 240, 1976.

BJORNTORP, P. Hormonal control of regional fat distribution. **Human Reproduction**, v. 12, 1997.

BLANCO, M. et al. Impact of animal and management factors on collagen characteristics in beef: a meta-analysis approach. **Animal**, v. 7, n. 7, p. 1208-1218, 2013.

BLIGH, E. G., DYER, W. J. (1989). A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, 37, 911-917.

BONNET, M. et al. Ontogenesis of muscle and adipose tissues and their interactions in ruminants and other species. **Animal**, v. 4, n. 7, p. 1093–1109, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal - RIISPOA. Brasília, DF, 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regulamento Técnico de Métodos de Insensibilização para o Abate Humanitário de Animais de Açougue. Brasília, DF, 2000.

BURSON, D.E.; HUNT, M.C.; UNRUH, J.A. Proportion of types I and III collagen in Longissimus collagen from bulls and steers. **Journal of Animal Science**, v. 63, n. 2, p. 453-456, 1986.

CARVALHO, M. E.; GASPARIN, G.; POLETI, M. D.; ROSA, A. F.; BALIEIRO, J. C. C.; LABATE, C. A.; NASSU, R. T.; TULLIO, R. R.; REGITANO, L. C. de A.; MOURÃO, G. B.; COUTINHO, L. L. Heat shock and structural proteins associated with meat tenderness in Nelore beef cattle, a *Bos indicus* breed. **Meat Science**, v. 96, n. 3, p. 1318-1324, 2014.

CHAMPAGNE, J. R. et al. Feedlot performance and carcass characteristics of young bulls and steers castrated at four ages. **Journal of Animal Science**, v. 29, n. 6, p. 887-890, 1969.

CHO, J. H. et al. Regional differences of proteins expressing in Adipose depots isolated from cows, steers and bulls as identified by a proteomic approach. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 29, n. 8, p. 1197–1206, 2016.

CHRIKI, S. et al. Meta-analysis of the relationships between beef tenderness and muscle characteristics. **Livestock Science**, v. 155, n. 2-3, p. 424-434, 2013.

CROSS, H. R. et al. 1973. Effects of intramuscular collagen and elastin on bovine muscle tenderness. **Journal of Food Science**, v. 38, p.998-1003, 1973.

CROUSE, J. D.; KOOHMARAIE, M.; SEIDEMAN, S. D. The relationship of muscle fibre size to tenderness of beef. **Meat Science**, v. 30, n. 4, p. 295-302, 1991.

CULLER, R. D. et al. Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine longissimus muscle. **Journal Food Science**, v. 43, n. 4, p.1177-1180, 1978.

DIEUDONNE, M. N. et al. Opposite effects of androgens and estrogens on adipogenesis in rat preadipocytes: evidence for sex and site-related specificities and

possible involvement of insulin-like growth factor 1 receptor and peroxisome proliferator-activated receptor 2. **Endocrinology**, v. 141, n. 2, p. 649–656, 2000.

EUCLIDES FILHO, K. et al. Efeito de idade à castração e de grupos genéticos sobre o desempenho em confinamento e características de carcaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, p. 71-76, 2001.

FERRAZ, J.B. S.; FELÍCIO, P. E. Sistemas de produção – Um exemplo do Brasil. **Ciência da Carne**. 84, 238–243. 568 de 2010.

FIELD, R. A., PEARSON, A. M.; SCHWEIGERT, B. S. Hydrothermal shrinkage of bovine collagen. **Journal of Animal Science**, 30, 712–715, 1970.

FRITSCHÉ, S.; STEINHART, H. Differences in the natural hormonal patterns of beef steroids from bulls and steers. **Journal of Animal Science**, v. 76, n. 6, p. 1621-1625, 1998.

FRYLINCK, L.; STRYDOM, P.E.; WEBB, E.C.; du TOIT, E. Effect of South African beef production systems on post-mortem muscle energy status and meat quality. **Meat Science**, v.93, p.827–837, 2013.

GAGAOUA, Mohammed et al. Associations among protein biomarkers and pH and color traits in longissimus thoracis and rectus abdominis muscles in protected designation of origin Maine-Anjou cull cows. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 17, p. 3569-3580, 2017.

GAMARRA, D. et al. Distinct correlations between lipogenic gene expression and fatty acid 98 composition of subcutaneous fat among cattle breeds. **BMC veterinary Research**, v. 14, n. 1, p. 1–12, 2018.

GANDEMÉR, G. Lipids and meat quality: lipolysis, oxidation, maillard reaction and flavour. **Sciences des Aliments** (France), 1999.

GARBOSSA, P. L. M. **Influência da condição sexual de bovinos cruzados Angus x Nelore terminados em confinamento sobre a proteólise post mortem e maciez da carne**. Dissertação de Mestrado em Ciências. Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2021.

GEESINK, G.H.; KOOLMEES, P.A.; VAN LAACK, H. L. J. M.; SMULDERS, E. J. M. Determinantes of tenderization on beef Longissimus dorsi and Triceps brachii muscles. **Meat Science**, v.41, n.1, p.7-17, 1995.

GEESINK, G. H.; KUCHAY, S.; CHISHTI, A. H. et al. Calpain is essential for postmortem proteolysis of muscle proteins. **Journal of Animal Science**, v.84, p.2834–2840, 2006.

GEESINK, G.H.; TAYLOR, R.G.; BEKHIT, A.E.D. et al Evidence against the non-enzymatic calcium theory of tenderisation. **Meat Science**, v. 59, p. 417–422, 2001.

GERRARD, D.E.; JONES, S.J.; ABERLE, E.D. Collagen stability, testosterone secretion and meat tenderness in growing bulls and steers. **Journal of Animal Science**, v. 65, n. 5, p. 1236-1242, 1987.

GOLL, D. E., V. F. THOMPSON, H. LI, et al. The calpain system. **Physiol. Rev.** 83:731–801, 2003.

GOMIDE, L. A. M.; RAMOS, E. M.; FONTES, P. R. **Ciência e qualidade da carne - Fundamentos**. Viçosa: UFV, p. 197, 2013.

GORNALL, A. G. et al. Determination of serum protein by means of the biuret reaction. **Journal Biology Chemical**, v. 177, n. 2, p.751-766, 1949.

HILDRUM, Kjell Ivar et al. Classification of different bovine muscles according to sensory characteristics and Warner Bratzler shear force. **Meat Science**, v. 83, n. 2, p. 302-307, 2009.

HOCQUETTE, J. F. et al. Intramuscular fat content in meat-producing animals: Development, genetic and nutritional control, and identification of putative markers. **Animal**, v. 4, n. 2, p. 303–319, 2010.

HONIKEL, K. O. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. **Meat Science**, v. 49, n. 4, p. 447-457, 1998.

JONES, B. K.; TATUM, J. D. Predictors of beef tenderness among carcass produced under commercial conditions. **Journal of Animal Science**, v. 72, n. 6, p. 1492-1501, 1994.

JOO, S. T. et al. Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics. **Meat Science**, v. 95, n. 4, p. 828-836, 2013.

KIRCHOFER, K.S.; CALKINS, C.R.; GWARTNEY, B.L. Fiber type composition of muscles of the beef chuck and round. **Journal of Animal Science**, v.80, p.2872-2878, 2002.

KOOHMARAIE, M. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization process of meat. **Meat Science**, v. 43, p.193–201, 1996

KOOHMARAIE, M. Muscle proteinases and meat aging. **Meat Science**, v. 36, n. 1-2, p. 93-104, 1994.

KOOHMARAIE, M. The role of Ca(2+)-dependent proteases (calpains) in *post mortem* proteolysis and meat tenderness. **Biochimie**, v.74, p.239-245,1992.

LAGE, J. F.; PAULINO, P. V. R.; FILHO, S. C. V.; SOUZA, E. J. O.; DUARTE, M. S.; BENEDETI, P. D. B.; SOUZA, N. K. P.; COX, R. B. Influence of genetic type and level of concentrate in the finishing diet on carcass traits and meat quality in beef heifers. **Meat Science**, v. 90, n. 3, p. 770-774, 2012.

LATORRE, M. E.; IEZZI, S.; CHRISTENSEN, S.; PURSLOW, P. P. Castrated against entire male cattle; meat quality and connective tissue properties. **Journal of Agricultural Research**, 43(1), 72-77, 2017.

LISTRAT, A. et al. Contribution of connective tissue components, muscle fibres and marbling to beef tenderness variability in longissimus thoracis, rectus abdominis, semimembranosus and semitendinosus muscles. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 6, p. 2502–2511, 9 abr. 2020.

LOMIWES, D. et al. The development of meat tenderness is likely to be compartmentalised by ultimate pH. **Meat Science**, v. 96, n. 1, p. 646–651, 2014.

MALHEIROS, J. M.; BRAGA, C. P.; GROVE, R. A.; RIBEIRO, F. A.; CALKINS, C. R.; ADAMEC, J.; CHARDULO, L. A. L. Influence of oxidative protein damage on meat tenderness using a proteomic approach. **Meat Science**, v. 148, p. 64-71, 2019.

MIGUEL, G. Z. et al. Immunocastration improves carcass traits and beef color attributes in Nellore and Nellore x Aberdeen Angus crossbred animals finished in confinement. **Meat Science**, v. 96, n. 2, p. 884-891, fev. 2014.

MORGAN, J.B.; WHEELER, T.L.; KOOHMARAIE, M.; CROUSE, J.D.; SAVELL, J. M. Effect of castration on myofibrillar protein turnover, endogenous proteinase activities and muscle growth in bovine skeletal muscle. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 71, p 408-414, fev, 1993.

MUCHENJE, V. et al. Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health: A review. **Food Chemistry**, v. 112, n. 2, p. 279–289, jan. 2009.

MUELLER, Lenise Freitas et al. Effect of gender status on carcass and meat quality traits in Angus x Nellore cattle. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 8, p. 1078-1089, 2019.

O'CONNOR, S.F.; TATUM, J.D.; WULF, D.M.; GREEN, R.D.; SMITH, G.C. Genetic effects on beef tenderness in composite *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. **Journal of Animal Science**, v. 75, n. 7, p. 1822-1830, 1997.

OFFER, G. et al. The structural basis of the water-holding, appearance and toughness of meat and meat products. **Food Microstructure**, v. 8, n. 1, p. 151–170, 1989.

OLIVEIRA, I. M. et al. Características de qualidade da carne de novilhos Nelore, F1 Simmental x Nelore e F1 Angus x Nelore alimentados no nível de manutenção ou ad libitum com dois níveis de concentrado na dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 2894-2902, 2011.

OLSON, D. G.; PARRISH, F. C. J.; STROMER, M. H. Myofibril fragmentation and shear resistance of three bovine muscles during postmortem storage. **Journal of Food Science**, v. 41, p. 1036-1041, 1976.

OUALI, A. Meat tenderization: possible causes and mechanisms. A review. **Journal Muscle Foods**, v.1, p.129-165, 1990.

PADUA, J. T.; OLIVEIRA, M. P.; SILVA, L. A. F.; VIEIRA, L. S.; FIGUERÊDO, E. J.; MORALES, D. C. S. P.; CARRIJO, L. H. D.; MARTINS, A. F. C. Efeito de métodos de

castração e do uso de vermífugos sobre o ganho em peso de bovinos mestiços leiteiros. **Ciência Animal Brasileira**, v. 4, n. 1, p. 33-43, 2003.

PEARSON, A. M. (Ed.). Muscle and meat biochemistry. **Elsevier**, 2012.

PICARD, B. et al. Beef tenderness and intramuscular fat proteomic biomarkers: Effect of gender and rearing practices. **Journal of Proteomics**, v. 200, p. 1–10, 2019.

PICARD, B. et al. Beef tenderness and intramuscular fat proteomic biomarkers: Muscle type effect. **PeerJ**, v. 6, p. 891, 2018.

PICARD, B. et al. Biomarkers of tenderness and intramuscular fat in five muscles from French PDO Maine-Anjou: I-Muscle type effect. In: **Proceedings of the 63rd international congress of meat science and technology**. First edition. Cork, Ireland: Wageningen Academic Publishers. p. 427-428, 2017.

PURCHAS, R. W. Effect of sex and castration on growth and composition. In: PEARSON, A. J.; DUTSON, T. R. Growth regulation in farm animals: advances in meat research. London: **Elsevier Applied Science**, chap. 8, p. 203-254, 1991.

PURSLOW, P.P. Contribution of collagen and connective tissue to cooked meat toughness; some paradigms reviewed. **Meat Science**, 144, 127-134, 2018.

RAES, K. et al. Effect of linseed feeding at similar linoleic acid levels on the fatty acid composition of double-musced Belgian Blue young bulls. **Meat Science**, v. 66, n. 2, p. 307– 315, 2004.

RHEE, M.; WHEELER, T.; SHACKELFORD, S.; KOOHMARAIE, M. Variation in Palatability and Biochemical Traits within and among eleven Beef Muscles. **Journal of Animal Science**. Vol.:82. p. 534-556, 2004.

RODRIGUES, R. T. de S.; CHIZZOTTI, M. L.; VITAL, C. E.; BARACAT-PEREIRA, M. C.; BARROS, E.; BUSATO, K. C.; GOMES, R. A.; LADEIRA, M. M.; MARTINS, T. da S. Differences in Meat Quality between Angus (*Bos taurus taurus*) and Nellore (*Bos taurus indicus*) Cattle through a Proteomic and Phosphoproteomic Approach. **PLOS ONE**, v. 12, n. 1, p.17, 2017.

SCHREURS, N. M. et al. Meta-analysis of the effect of animal maturity on muscle characteristics in different muscles, breeds, and sexes of cattle. **Journal of Animal Science**, v. 86, n. 11, p. 2872-2887, 2008.

SEIDEMAN, S.C.; CROSS, H.R.; CROUSE, J. D. Carcass characteristics, sensory properties and mineral content of beef from bulls and steers. **Food Quality Magazine**. 11: 497-507, 1989.

SEIDEMAN, S. C.; CROSS, H. R.; OLTJEN, R. R.; SCHANBACHER, B. D. Use of the Intact Male for Red Meat Production: A Review. **Journal of Animal Science**, v. 55, p. 826-840, 1982.

SILVA, L. H. P. et al. Explaining meat quality of bulls and steers by differential proteome and phosphoproteome analysis of skeletal muscle. **Journal of Proteomics**, v. 199, p. 51-66, 2019.

SORET, B. et al. Expression of genes involved in adipogenesis and lipid metabolism in subcutaneous adipose tissue and longissimus muscle in low-marbled Pirenaica beef cattle. **Animal**, v. 10, n. 12, p. 2018–2026, 1 dez. 2016.

TATUM, J. D.; SMITH, G. C.; CARPENTER, Z. L. Interrelationships between marbling, subcutaneous fat thickness and cooked beef palatability. **Journal of Animal Science**, v. 54, n. 4, p. 777-784, 1982.

TAYLOR R. G. Connective tissue structure, function and influence on meat quality, In. **Meat Science Encyclopedia**, p. 306-313, 2004.

TORNBERG, E. Effects of heat on meat proteins? Implications on the structure and quality of meat products. **Meat Science**, Barking, v. 70, n. 3, p. 493-508, 2005.

TORRESCANO, G.; SÁNCHEZ-ESCALANTE, A.; GIMÉNEZ, B.; RONCALÉS, P.; BELTRÁN, J. A. Shear values of raw samples of 14 bovine muscles and their relation to muscle collagen characteristics. **Meat Science**, Barking, v. 64, n. 1, p. 85-91, 2003.

VAZ, F. N. et al. Qualidade e composição química da carne de bovinos de corte inteiros ou castrados de diferentes grupos genéticos Charolês x Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, p. 518-525, 2001.

VOISINET, B. D. et al. Bos indicus-cross feedlot cattle with excitable temperaments have tougher meat and a higher incidence of borderline dark cutters. **Meat Science**, v. 46, n. 4, p. 367–377, ago. 1997.

WHEELER, T. L.; SHACKELFORD, S. D.; KOOHMARAIE, M. Variation in proteolysis, sarcomere length, collagen content, and tenderness among major pork muscles. **Journal of Animal Science**, v. 78, n. 4, p. 958–965, 2000.

WHIPPLE, G.; KOOHMARAIE, M.; DIKEMAN, M.E. et al. 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.

WOESSNER JUNIOR, J. F. 1961. The determination of hydroxyproline in tissue and protein samples containing small proportions of this imino acid. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, Miami, v. 93, p. 440-447, 1961.

WULF, D. M.; TATUM, J. D.; GREEN, R. D.; MORGAN, J. B.; GOLDEN, B. L.; SMITH, G. C. Genetic influences on longissimus palatability of beef in charolais and limousine steers and heifers. **Journal of Animal Science**, v. 74, n. 10, p. 2394-2405, 1996.

CAPÍTULO 3

A condição sexual de bovinos de corte influencia a solubilização do colágeno intramuscular, a degradação miofibrilar e o amaciamento da carne durante o processo de maturação

RESUMO

As diferenças fisiológicas entre as condições sexuais de bovinos afetam a qualidade da carne por influenciarem o metabolismo muscular *post mortem* e alterações estruturais ocorridas no processo de maturação, utilizado pela indústria para melhorar as propriedades sensoriais da carne. Objetivou-se avaliar se a condição sexual de bovinos influencia a degradação miofibrilar, a solubilização do colágeno intramuscular e o amaciamento da carne durante o processo de maturação. Foram utilizados 102 bovinos Angus x Nelore, divididos em fêmeas (F), machos castrados (MC) e machos não castrados (MNC). Os animais, pertencentes ao mesmo grupo contemporâneo, foram mantidos nas mesmas condições de manejo e dieta por 150 dias e foram abatidos aos dezesseis meses de idade. Durante a desossa, realizada 48 horas após o abate, foram coletadas amostras do músculo *Longissimus thoracis* e maturadas, sob temperatura entre 0 e 2 °C, durante dois e quatorze dias para as análises laboratoriais. Considerou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado em um arranjo fatorial 3x2 (condição sexual e tempo de maturação) para as variáveis força de cisalhamento (FC), perdas de peso por cocção (PPC), teores de colágeno total, solúvel e insolúvel e índice de fragmentação miofibrilar (IFM). Houve efeito da condição sexual (CS) e do tempo de maturação para a FC, em que os maiores valores de FC foram atribuídos aos MNC enquanto MC e F não diferiram e a FC foi menor aos quatorze dias de maturação. As maiores PPC foram verificadas nas carnes de MNC, MC e F, respectivamente e não houve efeito do tempo de maturação. MNC e MC apresentaram maior teor de colágeno total em comparação às F, contudo, MNC apresentaram maior porcentagem de solubilidade do colágeno. Foram verificados maiores teores de todas as frações de colágeno na carne maturada por quatorze dias, mas não houve influência do tempo de maturação sobre a solubilidade do colágeno. Quanto ao IFM, verificou-se interação entre a CS e o tempo de maturação, em que F e MC apresentaram aumento do IFM após os quatorze dias de maturação, porém, em MNC, houve redução do IFM após este período. Conclui-se que a CS dos bovinos influencia o perfil de colágeno intramuscular e sua solubilização durante a maturação. Todavia, as variações no colágeno não justificam as diferenças na maciez da carne

entre as categorias sexuais, uma vez que MNC, embora apresentem maior solubilização do colágeno intramuscular, apresentam também a carne menos macia. A CS influencia a degradação miofibrilar e o amaciamento da carne durante a maturação, em que MC e F apresentam maior IFM e carne mais macia após quatorze dias de maturação, enquanto MNC apresentam menor IFM e carne mais dura.

Palavras-chave: Castração, força de cisalhamento, índice de fragmentação miofibrilar, tecido conjuntivo.

1 INTRODUÇÃO

Embora o Brasil se caracterize como um grande produtor de carne bovina, o país importou 48,7 mil toneladas deste produto no ano de 2021, 27,3% a mais do que no ano de 2020, quando a quantidade de carne bovina importada foi 35,4 mil toneladas (BRASIL, 2022). Isto demonstra que é crescente no Brasil a demanda por carne bovina de qualidade diferenciada, em que o consumidor brasileiro pertencente a este nicho de mercado, está disposto a pagar mais por cortes nobres (MOITINHO, 2021), sendo a maciez um dos principais atributos que influenciam a satisfação no momento do consumo deste produto (LISTRAT et al., 2020; MALHEIROS et al., 2019).

Estes dados demonstram que o Brasil ainda carece de estratégias para produção de carne, com padrão de qualidade diferenciado, que atenda às demandas internas por este produto. Algumas das estratégias já utilizadas, consistem no uso de cruzamentos, em que o objetivo é de associar as características desejáveis de diferentes raças bovinas, principalmente zebuínas e taurinas; a manipulação de dietas e otimização das fases de cria, recria e engorda; o uso de diferentes condições sexuais, explorando as características fisiológicas de bovinos machos, fêmeas e animais castrados, que pode implicar em variações nas características de qualidade da carne e, ainda, o emprego de métodos tecnológicos na carcaça e na carne que visam melhorar as propriedades sensoriais do produto final.

A condição sexual dos bovinos de corte influencia a qualidade da carne produzida, uma vez que as diferenças fisiológicas entre machos, fêmeas e animais castrados afetam o seu crescimento e desenvolvimento. Machos não castrados apresentam, em geral, melhor desempenho, crescimento mais rápido e maior rendimento de carcaça, com maior deposição de tecido muscular em relação às fêmeas e aos machos castrados (SEIDEMAN ET AL., 1982; FRITSCHÉ; STEINHART, 1998). Entretanto, machos não castrados, em geral, produzem carne mais dura e com menor deposição de gordura subcutânea e intramuscular (marmorização) (MUELLER, 2019).

Por outro lado, as fêmeas e os machos castrados, embora apresentem menor ganho de peso corporal quando comparados aos machos inteiros, apresentam, em geral, maior deposição de gordura subcutânea e intramuscular e produzem carne mais macia, favorecendo a padronização e a qualidade da carcaça (BERG; BUTTERFIELD, 1976). Desta forma, a utilização de bovinos de diferentes condições sexuais oferece ao produtor a possibilidade de obtenção de produtos com diferentes características,

onde machos não castrados são mais adequados à produção de carne, com maior rendimento de carcaça, enquanto fêmeas e machos castrados podem produzir carne com qualidade diferenciada, em especial gordura e maciez.

Uma das estratégias utilizadas pela indústria frigorífica para melhorar as características sensoriais da carne é o processo de maturação, que consiste em permitir uma ação prolongada das proteases naturalmente presentes nas carnes, sob refrigeração (temperatura em torno de 0°C), embaladas a vácuo ou em câmaras de resfriamento, promovendo a ruptura das miofibrilas e, conseqüentemente, o amaciamento da carne, além de aprimorar outras características como suculência, sabor e odor (LAWRENCE et al., 2006).

Neste processo, vários autores consideram o sistema de calpaínas o principal mecanismo responsável pela proteólise e amaciamento da carne durante a maturação. O sistema de calpaínas é composto principalmente pelas proteases μ -calpaína e m-calpaína, e um inibidor específico, a calpastatina; é dependente de cálcio e possui atividade ótima em pH neutro (GOLL et al., 2003). De acordo com Koohmaraie (1994), estas enzimas são capazes de degradar proteínas pertencentes à estrutura miofibrilar, promovendo sua fragmentação. Contudo, outras pesquisas têm sugerido que outros sistemas enzimáticos podem contribuir para a proteólise da carne, como as caspases, proteassomas, catepsinas e proteínas de choque térmico (HSPs, do inglês, *heat shock proteins*).

Segundo Herrera-Mendez et al. (2006), as caspases degradam principalmente as proteínas envolvidas na organização espacial das miofibrilas dentro das células musculares, o que facilita a ação posterior dos outros sistemas proteolíticos sobre os componentes celulares. De acordo com Lana e Zolla (2015), o proteassoma 20S está envolvido na regulação de várias vias celulares, por meio da degradação de proteínas do citosol e do núcleo das células, e Robert et al. (1999) descreveram que a incubação do proteassoma 20S com células musculares bovinas causou a degradação de proteínas da estrutura miofibrilar como nebulina, actina, miosina e tropomiosina após 24 horas. Além disso, HSPs, reconhecidas como chaperonas devido a sua função antiapoptótica, possuem diversas funções antiestresse e promovem a manutenção da homeostase celular (MA; KIM, 2020). As HSPs agem tentando manter a integridade e a funcionalidade das proteínas diante de algum tipo de estresse, portanto, podem desempenhar funções importantes no metabolismo *post mortem* com conseqüentes implicações para a qualidade da carne (LOMIWES et al., 2014). Já, as catepsinas,

são enzimas proteolíticas capazes de degradar a estrutura miofibrilar e o tecido conjuntivo. As catepsinas B e D degradam a actina e miosina nativas, e as catepsinas B e L clivam o colágeno insolúvel em fragmentos solúveis, o que pode indicar um sinergismo com o sistema das calpaínas (OUALI et al., 2006).

Nesse sentido, a eficiência do processo de maturação e, portanto, a maciez da carne maturada, podem depender da composição muscular e da capacidade das enzimas proteolíticas de agirem sobre seus componentes, as quais podem ser afetadas pela condição sexual dos animais. Portanto, objetivou-se avaliar se a condição sexual de bovinos cruzados Angus x Nelore terminados em confinamento influencia a degradação miofibrilar, a solubilização do colágeno intramuscular e o amaciamento da carne durante o processo de maturação.

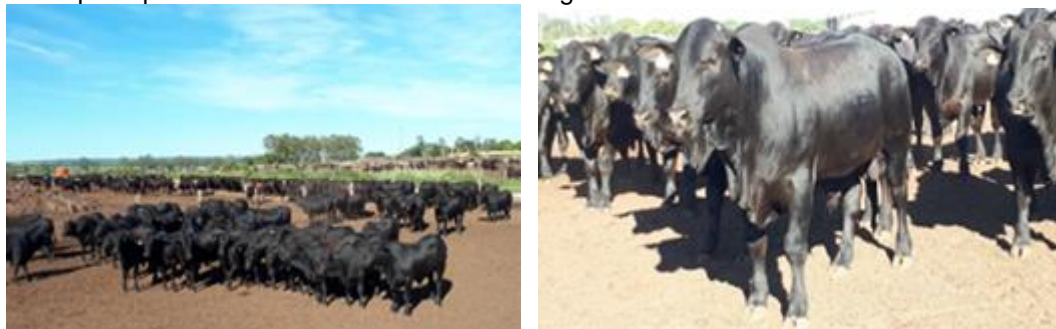
2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (FMVZ/USP) sob o protocolo CEUA nº 8761110220.

2.1 Instalações, manejo dos animais e dietas

Os animais foram confinados na Fazenda Letícia, localizada na cidade de Rio Verde de Mato Grosso - MS, sendo utilizados 102 bovinos cruzados Angus x Nelore com idade média de abate de 16 meses, do mesmo grupo contemporâneo, divididos em machos não castrados ($n = 34$), machos castrados ($n = 34$) e fêmeas ($n = 34$), pertencentes ao Programa de Certificação de Carne Angus no Brasil (Figura 2).

Figura 2 - Grupo experimental de bovinos cruzados Angus X Nelore em confinamento comercial.



Fonte: Registro do Laboratório Ciência da Carne (LCC/FMVZ/USP).

A castração dos animais do tratamento “machos castrados” foi realizada aos nove meses de idade, pela técnica cirúrgica de orquiectomia bilateral por método

fechado (PADUA, 2003), com aplicação de 10 ml de anestésico local (Lidocaína) por testículo. Durante o procedimento do pós-operatório foi aplicado anti-inflamatório não esteroideal (Flunixin Meglumina) em dose única de 2,2 mg/kg de peso vivo. Os animais foram previamente adaptados à dieta por oito dias, antes do início do experimento, e o concentrado foi inicialmente ofertado considerando-se 1,6% do peso vivo, sendo aumentado gradativamente, como usualmente realizado em fazendas comerciais. Durante a recria os animais já recebiam suplemento proteico a pasto, desde o nascimento (*creep feeding*).

A fazenda dispunha de 94 animais de cada condição sexual, os quais foram individualmente pesados para determinação dos 34 animais que compuseram cada tratamento. Após a pesagem, calculou-se o peso médio de cada condição sexual e foram selecionados, dentro de cada tratamento, 34 animais com o peso vivo mais próximo do peso médio de sua respectiva condição sexual. O peso vivo médio de entrada dos animais no confinamento foi de $231,8 \pm 8,8$ kg para as novilhas, $227,6 \pm 12,1$ kg para os machos castrados e $239,6 \pm 14,8$ kg para os machos não castrados.

Durante o período experimental, os animais foram mantidos nas mesmas condições de manejo, pesados, desverminados, vacinados (clostridioses e aftosa), identificados individualmente em relação aos tratamentos e mantidos em baias de 37m² por animal, com cochos e bebedouros, recebendo alimentação *ad libitum* com a mesma dieta.

A ração utilizada durante o período de confinamento de 150 dias foi formulada segundo as exigências do *National Research Council* (NRC 2016), adaptado às condições tropicais, calculadas pelo Programa RLM 3.2®. A composição da ração foi de 86% de concentrado e 14% de volumoso na matéria seca (Tabela 6), tendo como alimento volumoso feno de *Brachiaria*, e oferecida ao longo do dia, totalizando três tratos.

Tabela 6 - Composição percentual das dietas (na matéria seca).

Ingrediente (% matéria seca)	Terminação
Milho grão moído fino	55,0
Melaço líquido	17,0
Feno	14,0
Farelo de milho 48%	9,5
Núcleo mineral ¹	3,0
Uréia pecuária	0,75
Prote-n ²	0,75
Nutriente (%MS)	Níveis nutricionais
MS (%)	86,27
Pb	15,83
Ee	3,49
Carboidratos não fibrosos ³	8,35
Cálcio	0,82
Fósforo	0,29
Potássio	1,16
Monensina (ppm)	25,0

Fonte: elaborada pela autora (2023).

¹Cloreto calcítico, cloreto de sódio, enxofre, veículo, fosfato monobicálcico, óxido de magnésio, aroma de frutas, extrato de semente de uva, iodato de cálcio, monensina sódica, monóxido de manganês, óxido de zinco, selenito de sódio, sulfato de cobalto, sulfato de cobre, sulfato de ferro, vitamina A, vitamina D3, vitamina E.

²Uréia pecuária, oleoresina de páprica e veículo.

³Amido, sacarose e pectina.

Calculada pelo Programa Ração de Lucro Máximo 3.2® (RLM) ESALQ/USP.

Ao final do período experimental, o peso vivo final e o ganho médio diário dos animais foram, respectivamente, $431,3 \pm 26,5$ kg e $1,31 \pm 0,16$ kg para as novilhas, $452,4 \pm 30,9$ kg e $1,47 \pm 0,13$ kg para os machos castrados e $487,9 \pm 25,1$ kg e $1,62 \pm 0,17$ kg para os machos não castrados. Os animais foram transportados até o frigorífico comercial sob Serviço de Inspeção Federal (SIF), separados de acordo com as condições sexuais, a fim de não ocorrer mistura de lotes.

2.2 Abate, desossa e coleta de amostras

No frigorífico, os animais permaneceram separados nos currais de espera de acordo com as condições sexuais, e foram submetidos ao jejum sólido de 16 horas, tendo acesso à dieta hídrica até o momento do abate. O abate foi realizado de acordo com os procedimentos de abate humanitário, seguindo os padrões do Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal – RIISPOA (BRASIL, 2017) e o Regulamento Técnico de Métodos de Insensibilização para o Abate Humanitário de Animais de Açougue (BRASIL, 2000), em frigorífico Comercial, sob fiscalização do Serviço de Inspeção Federal (SIF 1646).

Os bovinos foram insensibilizados por meio de atordoamento com pistola pneumática penetrante, seguido imediatamente da sangria pela secção dos grandes

vasos do pescoço e em seguida foi realizada a esfola, evisceração e lavagem das carcaças, que foram resfriadas por 48 horas. Posteriormente, as carcaças foram transportadas em caminhão frigorífico refrigerado para Unidade de Beneficiamento de Carnes (SIF 3537), em Pirassununga - SP, onde foi realizada a desossa.

Durante a desossa, foram coletadas de todos os animais amostras de 2,54 cm do músculo *Longissimus thoracis* para as análises de força de cisalhamento e perdas de peso por cocção, e amostras de 1 cm, do mesmo músculo, para as análises de índice de fragmentação miofibrilar e quantificação do teor de colágeno e suas frações, em dois períodos de maturação (dois e quatorze dias). As amostras coletadas foram identificadas, embaladas a vácuo individualmente em sacos de polietileno (Cryovac®, Charlotte, NC, EUA) e maturadas sob temperatura entre 0 e 2 °C. Posteriormente, foram congeladas para as análises laboratoriais conforme metodologias descritas a seguir.

2.3 Força de cisalhamento

Para as análises de força de cisalhamento, foram utilizadas amostras de 2,54 cm do músculo *Longissimus thoracis* de todos os animais, nos dois períodos de maturação, correspondendo a 34 amostras por tratamento e totalizando 204 amostras. Os procedimentos para cocção dos bifes destinados à análise de força de cisalhamento foram realizados segundo a AMSA (2016). As amostras foram descongeladas em refrigerador doméstico por 24 horas e assadas em forno elétrico a 163 °C, até atingirem a temperatura interna de 71 °C; as temperaturas internas foram monitoradas por meio de um sistema de termopares digitais com termômetros individuais, que foram inseridos nos bifes até sua parte central.

Após serem assados e esfriarem até atingir a temperatura ambiente, os bifes foram embalados individualmente e acondicionados em refrigerador doméstico por 24 horas. Posteriormente, foram retirados de cada bife seis cilindros de 13 mm de diâmetro na direção das fibras musculares, por meio de um vazador elétrico. A análise de maciez objetiva foi realizada com equipamento texturômetro (modelo CT-3 Texture Analyser, AMETEK Brookfield®, Middleborough, MA, EUA), equipado com lâmina Warner-Bratzler, e a força de cisalhamento foi determinada pela média dos seis cilindros (WHEELER; SHACKELFORD; KOOHMARAIE, 2005).

2.4 Perdas de peso por cocção

Os dados necessários para o cálculo de perdas de peso por cocção foram coletados durante a preparação das amostras de carne para as análises de força de cisalhamento, onde as amostras foram individualmente colocadas em bandejas de alumínio previamente taradas e pesadas, antes e após o cozimento. A perda de peso total pela cocção foi determinada pela diferença de peso da amostra antes e depois de seu cozimento, e expressa em porcentagem (HONIKEL, 1998).

2.5 Colágeno total, solúvel e insolúvel

Para a quantificação do colágeno total e suas frações, foram selecionadas 10 amostras do músculo *Longissimus thoracis*, maturado por dois e quatorze dias, de cada condição sexual (machos não castrados, machos castrados e fêmeas), totalizando, portanto, 60 amostras. As amostras foram selecionadas a partir dos resultados das análises de força de cisalhamento, selecionando-se dentro de cada condição sexual, as 10 amostras que apresentaram os valores mais discrepantes para a maciez. Assim, foram selecionadas, para as fêmeas, 5 amostras com valores de FC acima de 71, 71 N e 5 amostras com valores de FC abaixo de 66,93 N; para os MC, foram selecionadas 5 amostras com valores de FC acima de 68,79 N e 5 amostras com valores de FC abaixo de 64,28 N; e, para os MNC, foram selecionadas 5 amostras com valores de FC acima de 90,84 N e 5 amostras abaixo de 86,14 N.

O colágeno e suas frações foram quantificados pela determinação do aminoácido hidroxiprolina, segundo metodologia proposta por Woessner Junior (1961). Para a extração, foram utilizadas amostras de 1,5 g do músculo *Longissimus thoracis*, previamente liofilizadas. Posteriormente, as amostras de sobrenadante e resíduo foram submetidas à digestão em estufa de circulação de ar (CROSS et al., 1973) e, após a digestão, as amostras foram filtradas para posterior ajuste do pH (6,5 a 7,0) e diluição.

A leitura de cada amostra foi realizada em duplicata, bem como a leitura dos pontos da curva de concentração de hidroxiprolina, em espectrofotômetro no comprimento de onda de 560 nm. Os valores de colágeno total, solúvel e insolúvel foram calculados considerando a inclinação da curva padrão de absorbância, os fatores de conversão de 7,52 para o sobrenadante e 7,25 para o sedimento, a quantidade de músculo utilizado (considerando o peso da amostra liofilizada utilizada

na análise e o percentual de matéria seca do músculo, obtido através da pesagem da amostra antes e após a liofilização) e o volume das diluições. O sobrenadante corresponde à fração de colágeno solúvel e o sedimento, à fração de colágeno insolúvel, em mg/g de carne *in natura*, e o teor de colágeno total foi definido pela soma dos dois. A porcentagem de solubilidade foi calculada a partir da razão do colágeno presente na fração sobrenadante e o colágeno total.

2.6 Índice de Fragmentação Miofibrilar

Foram utilizadas amostras de 3 g de carne *in natura*, cujo excesso de gordura e tecido conjuntivo foi previamente removido com o auxílio de uma lâmina de bisturi. O IFM foi determinado de acordo com a metodologia proposta por Culler et al. (1978). As amostras foram homogeneizadas, centrifugadas, e novamente homogeneizadas com o auxílio de um bastão de vidro, e a suspensão obtida foi passada através de peneira de polietileno para remoção do tecido conectivo.

Na suspensão de miofibrilas, foi determinada a concentração de proteína pelo método de biureto, descrito por Gornall et al. (1949). Uma alíquota da suspensão de miofibrilas foi diluída com a solução de extração até uma concentração proteica de $0,5 \pm 0,05$ mg/mL. A suspensão diluída de miofibrilas foi agitada em vórtex e colocada na cubeta, sendo logo em seguida feita a leitura da densidade ótica a 540 nm em espectrofotômetro. O IFM foi obtido multiplicando-se por 200 o valor verificado de densidade ótica.

2.7 Análise estatística

Para avaliação do efeito da condição sexual e tempo de maturação para as variáveis força de cisalhamento, perdas de peso por cocção, teor de colágeno total, solúvel e insolúvel e índice de fragmentação miofibrilar no músculo *Longissimus thoracis*, foi considerado um delineamento inteiramente casualizado em um arranjo fatorial 3x2, sendo considerados como efeitos fixos a condição sexual (machos não castrados, machos castrados e fêmeas), os tempos de maturação (dois e quatorze dias *post mortem*) e suas interações, os efeitos aleatórios do animal e o erro residual. Após os resultados serem verificados quanto à presença de dados discrepantes, normalidade de erros e homogeneidade de variâncias, os dados foram submetidos à ANOVA por meio do procedimento MIXED do software SAS® sendo as médias dos

resultados comparadas pelo teste de Tukey e a significância foi declarada quando $P \leq 0,05$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito da CS ($P < 0,0001$) sobre as perdas de peso por cocção (PPC), em que os maiores valores foram verificados nas carnes dos MNC (29,39%), MC (26,34%) e F (24,49%), respectivamente, e não houve efeito ($P \leq 0,05$) do tempo de maturação. Para força de cisalhamento (FC), houve efeito da condição sexual (CS) ($P < 0,0001$) e do tempo de maturação ($P < 0,0001$), em que machos não castrados (MNC) apresentaram os valores mais elevados (90,29 N), enquanto fêmeas (F) e machos castrados (MC) não diferiram (66,22 N e 64,07 N, respectivamente) e a carne maturada por quatorze dias apresentou valores mais baixos de FC, em relação àquela maturada por dois dias (63,57 N e 83,49 N, respectivamente) (Tabela 7).

Valores altos de PPC não são desejáveis, uma vez que sinalizam uma perda acentuada de água e gordura durante o cozimento (TORNBERG, 2005), o que pode resultar em carnes mais duras e com menor suculência. No entanto, o intervalo normal determinado por Muchenje et al. (2009) para esta variável, na carne bovina, é de 13,1% a 34,54% e todos os valores de PPC verificados em nosso estudo (29,39%, 26,34% e 24,49%) foram considerados normais. Contudo, pode ser observado que a carne dos MNC apresentou os maiores valores de PPC e também de FC, de forma que, embora esteja dentro do intervalo normal, o maior valor de PPC verificado na carne de MNC pode ser um dos fatores responsáveis pela maior dureza da carne desta categoria, em comparação às demais.

É bem estabelecido que a carne de bovinos MNC é, geralmente, mais dura do que a carne de F e MC, em virtude de, entre outros fatores, maior quantidade de tecido conjuntivo e menor quantidade de gordura intramuscular e subcutânea (MORGAN et al., 1993; ANDREO et al., 2013) e, principalmente, maior atividade de calpastatina, que age como inibidora das calpaínas, principais enzimas responsáveis pela degradação miofibrilar e amaciamento da carne (WULF et al., 1996; O'CONNOR et al., 1997). Em nosso estudo, a carne dos MNC foi 26,65% mais dura em relação à carne das F e 29,03% mais dura em relação à dos MC. Estes resultados condizem com aqueles descritos por Mueller et al. (2019), que verificaram que bovinos cruzados Angus x Nelore não castrados apresentaram maiores valores de FC no músculo

Longissimus quando comparados a machos cirurgicamente castrados, machos imunocastrados e fêmeas, em todos os períodos de maturação avaliados (zero, sete e quatorze dias).

Esperava-se também que a carne maturada apresentasse menores valores de FC, devido à ação das enzimas proteolíticas endógenas na degradação das proteínas musculares, o que torna a carne mais macia (CONTRERAS-CASTILLO et al., 2016; KIM et al., 2018). Neste estudo, a maturação tornou a carne de F 17,42% mais macia, 33,56% a de MC, e 21,1% a de MNC, o que denota a eficiência do processo de maturação para a obtenção de carnes com qualidade diferenciada. Entretanto, a utilização desta estratégia implica em custos adicionais para a indústria frigorífica, como uma maior demanda por espaço nas câmaras frias e maior gasto de energia elétrica.

Nesse sentido, visando a otimização da produção, processamento e comercialização da carne, principalmente para nichos de mercado, são crescentes as parcerias entre frigoríficos e produtores, nas quais os pecuaristas são bonificados pela oferta de animais com melhores características de carcaça (peso, acabamento, escore de marmorização, entre outras) e que podem afetar a qualidade da carne produzida e seu custo final. Desta forma, neste tipo de sistema de produção, o abate de bovinos machos castrados e fêmeas jovens demonstra-se mais vantajoso para a produção de carne macia, uma vez que estes animais apresentam, em geral, melhores características de carcaça e carne mais macia.

Tabela 7 - Perdas de peso por cocção e força de cisalhamento do músculo *Longissimus thoracis* de bovinos Angus x Nelore de diferentes condições sexuais (F, MC e MNC) terminados em confinamento maturado por dois e quatorze dias.

Variável	Maturação	Condição Sexual			Média	EPM	Valor de P		
		F	MC	MNC			CS	M	CS*M
PPC (%)	2 dias	23,458	26,957	29,307	26,574	0,630	<0,0001	0,685	0,284
	14 dias	25,537	25,724	29,481	26,914	0,544			
	Média	24,497C	26,340B	29,394A					
	EPM	0,769	0,684	0,707					
FC (N)	2 dias	72,548	76,999	100,940	83,496a	0,291	<0,0001	<0,0001	0,363
	14 dias	59,907	51,156	79,641	63,570b	0,258			
	Média	66,227B	64,078B	90,290A					
	EPM	0,329	0,346	0,336					

Fonte: elaborada pela autora (2023).

FC: Força de Cisalhamento; N: Newtons; PPC: Perdas de Peso por Cocção; F: Fêmeas; MC: Machos castrados; MNC: Machos não castrados; EPM: Erro Padrão da Média; CS: Condição sexual; M: Maturação; CS*M: Interação entre Condição Sexual e Maturação.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Houve efeito da CS ($P = 0,042$) e do tempo de maturação ($P = 0,008$) sobre o teor de colágeno total, sendo os maiores teores verificados nos MNC (1,69 mg/g), MC (1,66 mg/g) e F (1,38 mg/g), respectivamente. A carne maturada por quatorze dias apresentou teores mais altos de colágeno, quando comparada aos dois dias (1,72 mg/g e 1,43 mg/g, respectivamente). O teor de colágeno solúvel também foi influenciado pela CS ($P = 0,039$) e pelo tempo de maturação ($P = 0,007$), sendo os maiores valores também verificados nos MNC (0,32 mg/g), MC (0,29 mg/g) e F (0,26 mg/g), respectivamente. Os músculos maturados por quatorze dias também apresentaram teores mais altos de colágeno solúvel, em relação aos maturados por dois dias (0,32 mg/g e 0,26 mg/g, respectivamente). Igualmente, os teores de colágeno insolúvel também foram afetados pela CS ($P = 0,046$) e pelo tempo de maturação ($P = 0,010$), em que os maiores teores foram verificados nos MNC (1,37 mg/g), seguidos pelos MC (1,36 mg/g) e pelas F (1,12 mg/g), e os músculos com quatorze dias de maturação apresentaram teores mais altos, em relação àqueles maturados por dois dias (1,4 mg/g e 1,16 mg/g, respectivamente) (Tabela 8).

Observa-se, portanto, que os MNC apresentaram maiores quantidades de todas as frações de colágeno por g de carne (1,69 mg/g), seguidos pelos MC (1,66 mg/g) e F (1,38 mg/g). Estes resultados corroboram com àqueles relatados por Chriki et al. (2013), que descreveram que bovinos machos não castrados apresentam, em geral, maiores quantidades de colágeno intramuscular total do que as fêmeas e os de Morgan et al. (1993), que indicam que a castração representa uma condição redutora desta proteína no tecido muscular dos machos. Isto pode ser explicado pelo estímulo da testosterona ao desenvolvimento da massa muscular em MNC, o que pode levar também ao maior estímulo da síntese de tecido conjuntivo intramuscular de sustentação.

Em relação à solubilidade do colágeno entre as CS, também se verificou maiores quantidades de colágeno solúvel em MNC (0,32 mg/g), MC (0,29 mg/g) e F (0,26 mg/g), respectivamente. Contudo, quando calculada a razão da fração de colágeno solúvel, em relação ao conteúdo de colágeno total, observou-se o maior percentual de solubilidade na carne dos MNC (19,14%), seguidos pelas F (18,9%) e

MC (18%). De acordo com Burson et al. (1986) e Gerrard et al. (1987), é esperado que animais não castrados apresentem menor concentração de colágeno solúvel no tecido conjuntivo, uma vez que há maior desenvolvimento da massa muscular nestes animais, o que não foi observado neste estudo.

Nesse sentido, cabe destacar que os menores teores de solubilidade frequentemente verificados nas carnes de bovinos MNC podem se justificar principalmente pela maturidade fisiológica deste tecido, tendo em vista que esta categoria animal é, geralmente, abatida com idade mais elevada (FERRAZ; FELÍCIO, 2010). Ressalta-se que a idade é um dos principais fatores que alteram a maciez da carne, por meio da formação das ligações covalentes cruzadas de colágeno intramuscular, que se tornam mais difíceis de romper (LATORRE et al., 2017). No entanto, no presente estudo, destaca-se que os animais foram abatidos em idade jovem (16 meses), de forma que a idade de abate não influenciou esta variável.

Deve-se considerar, ainda, que o crescimento muscular devido à hipertrofia das fibras musculares possui efeito sobre a solubilidade do colágeno, uma vez que esse rápido crescimento acarreta uma constante remodelação e expansão do endomísio e perimísio, a fim de acompanhar o crescimento das fibras (PURSLOW, 2018). Sendo assim, podemos pressupor que a carne de MNC possui maior solubilidade térmica do colágeno intramuscular devido ao maior *turnover* proteico, uma vez que o colágeno recém-sintetizado é termolábil, e este acompanha a curva de crescimento muscular, que é mais acentuada nesta CS.

Além disso, ressalta-se também que os animais deste estudo foram terminados em sistema intensivo e alimentados com dieta altamente energética, fatores estes relacionados à maior solubilização do colágeno intramuscular, além de terem sido abatidos em idade jovem, com média de 16 meses. Portanto, não houve influência da idade e de longos períodos de exercício físico sobre a solubilidade do colágeno. Estes fatores podem ter corroborado para que se sobressaísse o efeito do maior *turnover* proteico sobre a solubilização do colágeno intramuscular nos MNC.

Em relação ao efeito da maturação sobre o perfil de colágeno, os músculos maturados por quatorze dias apresentaram maiores quantidades de colágeno total (1,72 mg/g), em relação àqueles maturados por dois dias (1,43 mg/g). De acordo com Oliveira et al. (1998) e Sentandreu et al. (2002), com a diminuição do pH no período *post mortem* e decorrer da maturação, ocorre a ruptura progressiva dos lisossomos e liberação de enzimas proteolíticas no meio extracelular, como as catepsinas B e L,

que são capazes de clivar a proteína de colágeno. Dessa forma, uma vez que a determinação do teor de colágeno nos músculos foi realizada pela quantificação do aminoácido hidroxiprolina, a clivagem do colágeno em fragmentos menores pode ter permitido a verificação de um maior teor deste aminoácido livre nos músculos submetidos ao maior período de maturação, o que pode explicar maiores teores de todas as frações de colágeno nos músculos maturados por quatorze dias. Em adição, nossos resultados assemelham-se àqueles observados por Mera (2016), que verificou teores de colágeno total de 1,46 mg/g, 1,63 mg/g e 1,71 mg/g no músculo *Longissimus lumborum* de animais zebuínos maturados por dois, quatorze e vinte e um dias.

Já, em relação à solubilização do colágeno intramuscular durante o processo de maturação, embora tenha sido observada maior quantidade de colágeno solúvel na carne maturada por quatorze dias (0,32 mg/g), em relação àquela maturada por dois dias (0,26 mg/g), quando calculada a razão de colágeno solúvel sobre o teor de colágeno total nos músculos nos dois períodos de maturação, observou-se percentuais de solubilidade de 18,68% e 18,63%, para dois e quatorze dias, respectivamente.

Segundo Bailey e Ligth (1989), a ação das enzimas proteolíticas nas fibras de colágeno provoca a desintegração e diminuição da força de sua matriz, o que leva ao decréscimo na sua estabilidade térmica e ao aumento da sua solubilidade. Contudo, em nosso estudo, observamos que não houve alteração significativa na percentagem de solubilidade entre os tempos de maturação avaliados, em concordância com Whipple et al. (1990), que também não observaram influência desta característica sobre a solubilidade do colágeno intramuscular.

O músculo *Longissimus* apresentou menor FC aos quatorze dias de maturação, embora não tenha apresentado diferença na solubilidade do colágeno e MNC apresentaram a maior porcentagem de solubilidade e carne mais dura. A ausência de diferença na solubilidade do colágeno intramuscular entre os períodos de maturação avaliados e, principalmente, a ausência de contribuição do colágeno para a maciez da carne das diferentes CS, corroboram com os resultados observados por Kruggel e Field (1971), que descreveram que o aumento na maciez da carne durante o processo de maturação está, provavelmente, mais relacionado com mudanças nas proteínas miofibrilares do que com mudanças no tecido conjuntivo, principalmente em animais jovens. Contudo, destaca-se, novamente, a forte influência da idade dos animais sobre a estabilidade do tecido conjuntivo intramuscular, de forma que a ausência de

diferenças observadas em nosso estudo, quanto à solubilidade do colágeno, pode ter se dado em função do abate precoce dos animais (média de 16 meses de idade).

Tabela 8 - Quantificação de colágeno total, solúvel e insolúvel do músculo *Longissimus thoracis* de bovinos Angus x Nelore de diferentes condições sexuais (F, MC e MNC) terminados em confinamento maturado por dois e quatorze dias.

Variável	Maturação	Condição Sexual			Média	EPM	Valor de P		
		F	MC	MNC			CS	M	CS*M
Colágeno	2 dias	1,217	1,547	1,538	1,434b	0,075	0,042	0,008	0,901
Total	14 dias	1,554	1,773	1,858	1,728a	0,075			
(mg/g)	Média	1,386B	1,660A	1,698A					
	EPM	0,093	0,093	0,093					
Colágeno	2 dias	0,219	0,281	0,304	0,268b	0,013	0,039	0,007	0,505
Solúvel	14 dias	0,305	0,316	0,345	0,322a	0,013			
(mg/g)	Média	0,262C	0,299B	0,325A					
	EPM	0,016	0,016	0,016					
Colágeno	2 dias	0,997	1,266	1,234	1,165b	0,064	0,046	0,010	0,921
Insolúvel	14 dias	1,249	1,457	1,512	1,406a	0,064			
(mg/g)	Média	1,123C	1,361B	1,373A					
	EPM	0,078	0,078	0,078					

Fonte: elaborada pela autora (2023).

F: Fêmeas; MC: Machos castrados; MNC: Machos não castrados; EPM: Erro Padrão da Média; CS: Condição sexual; M: Maturação; CS*M: Interação entre Condição Sexual e Maturação.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

Quanto ao IFM, houve interação entre a CS e o tempo de maturação ($P = 0,010$), em que F e MC apresentaram maior IFM no músculo *Longissimus* maturado por quatorze dias (92,57 e 100,80, respectivamente) em relação ao músculo maturado por dois dias (81,07 e 86,51, respectivamente), enquanto nos MNC, houve decréscimo do IFM, em que foram observados maiores valores aos dois dias de maturação (80,7) do que aos quatorze dias (69,97) (Tabela 9).

Observou-se, portanto, que nas F e nos MC, o IFM aumentou com o decorrer da maturação, como era esperado, uma vez que este processo permite uma ação prolongada das proteases naturalmente presentes na carne (LAWRENCE et al., 2006). Contudo, nos MNC, houve redução do IFM durante o mesmo período, diferentemente do que se esperava. Isto pode estar associado à maior atividade anabólica da testosterona nos MNC, que aumenta a atividade de calpastatina. Após o

abate, a alta concentração de calpastatina inibe a atividade das calpaínas, responsáveis pela degradação das miofibrilas (GOLL et al., 2003). Huff-Lonergan et al. (1995) descreveram que MNC exibiram uma degradação miofibrilar *post mortem* mais lenta em relação aos MC. Em adição, Koohmaraie (1994) descreveu que animais com elevada atividade de calpastatina, apresentam menor IFM e usualmente produzem carne menos macia, mesmo após um período de maturação de 14 dias.

Em MNC, os valores de FC do músculo *Longissimus* maturado por dois e quatorze dias foram 100,94 N e 79,64 N, respectivamente. Já, os valores de IFM aos dois e quatorze dias de maturação, foram 80,7 e 69,97, respectivamente. Observou-se, assim, que o período de maturação reduziu a FC da carne de MNC em 21,1%, contudo, diferentemente do que se esperava, o IFM, que normalmente é inversamente proporcional à FC, também apresentou decréscimo, correspondente à 10,73%. De acordo com Silva et al. (1999), o IFM um dia *post mortem* apresenta-se fortemente correlacionado com a FC. Entretanto, aos seis e treze dias *post mortem*, esta correlação é menor. Em nossos estudos, embora o IFM nos MNC tenha sido menor aos quatorze dias de maturação, a carne desta categoria apresentou melhor maciez após este período, no entanto, MNC ainda apresentaram carne 24,78% mais dura em relação às F e 35,77% em relação aos MC após o período de maturação de quatorze dias.

Em F, os valores de FC aos dois e quatorze dias de maturação foram 72,54 N e 59,9 N, respectivamente. Já, os valores de IFM, aos dois e quatorze dias, foram 81,07 e 92,57. Nos MC, os valores de FC aos dois e quatorze dias de maturação foram 76,99 N e 51,51 N, respectivamente, e os valores de IFM foram 86,51 e 100,8. Dessa forma, observou-se que o decorrer do período de maturação fez com que a FC da carne de F reduzisse 17,42% e o IFM aumentasse 11,5%. Já em relação à carne dos MC, o período de maturação reduziu a FC em 33,56% e aumentou o IFM em 14,28%. Assim, pode-se inferir que o processo de maturação favoreceu o amaciamento da carne de MC e F por meio da degradação miofibrilar, sendo os MC a CS cujo IFM e maciez final foram mais evidentes.

Em concordância com nossos resultados, Morgan et al. (1993) também observaram menor FC e maior IFM no músculo *Longissimus dorsi* de animais castrados, em comparação com àqueles não castrados e, de igual maneira, Silva et al. (2019) também verificaram maiores valores de IFM e menores valores de FC na carne de bovinos castrados em relação aos não castrados após 14 dias de maturação.

Entretanto, ao avaliar o efeito da maturação sobre o amaciamento da carne de bovinos de diferentes CS, Mueller et al. (2019) observaram que a medida em que se aumentou o tempo de maturação, MNC apresentaram maior taxa de amaciamento em relação às demais categorias, no entanto, não foi avaliado por estes autores de que forma se deu o amaciamento da carne. Como comentado anteriormente, não era esperado um decréscimo nos valores de IFM após os quatorze dias de maturação. O fato de isto ter sido verificado nos MNC que, como bem documentado, apresentam maior atividade de calpastatina e menor taxa de proteólise, nos leva a crer que a alta atividade de calpastatina pode ter inibido a degradação miofibrilar durante o período de maturação.

De acordo com Koohmaraie et al (2002), durante o *post mortem*, as mudanças bioquímicas na carne não sucedem de forma uniforme entre os animais, o que nos leva a subestimar ou superestimar o que realmente ocorre neste período. Cabe destacar, ainda, que o IFM é eficaz em detectar a proteólise enzimática miofibrilar, não tendo habilidade em identificar variações na maciez devido a outras características. Nesse sentido, o fato de MNC terem apresentado carne mais macia aos quatorze dias de maturação, mesmo não havendo aumento no IFM, pode ter se dado, por exemplo, em função desta categoria ter apresentado maior porcentagem de solubilidade do colágeno intramuscular em relação às demais.

Tabela 9 - Índice de fragmentação miofibrilar do músculo *Longissimus thoracis* de bovinos Angus x Nelore de diferentes condições sexuais (F, MC e MNC) terminados em confinamento maturado por dois e quatorze dias.

Variável	Maturação	Condição Sexual			Média	EPM	Valor de P		
		F	MC	MNC			CS	M	CS*M
IFM	2 dias	81,071Bb	86,515Ab	80,707Ba	82,764	2,5	0,001	0,161	0,010
	14 dias	92,573Ba	100,80Aa	69,975Cb	87,784	2,5			
	Média	86,822	93,660	75,341					
	EPM	3,061	3,061	3,061					

Fonte: elaborada pela autora (2023).

IFM: Índice de Fragmentação Miofibrilar; F: Fêmeas; MC: Machos castrados; MNC: Machos não castrados; EPM: Erro Padrão da Média; CS: Condição sexual; M: Maturação; CS*M: Interação entre Condição Sexual e Maturação.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

4 CONCLUSÃO

A condição sexual de bovinos cruzados Angus x Nelore influencia o perfil de colágeno intramuscular, porém, as variações verificadas no perfil de colágeno não foram capazes de explicar completamente as diferenças na maciez da carne entre as categorias, e a maturação não afeta a solubilidade do colágeno.

Machos castrados e fêmeas apresentam maior taxa de degradação miofibrilar durante o processo de maturação e carne mais macia, em relação aos machos não castrados, sendo, portanto, categorias mais vantajosas para produção de carne com qualidade diferenciada.

5 IMPLICAÇÕES

O período de maturação de quatorze dias favoreceu o amaciamento da carne de todas as categorias, porém, de forma mais acentuada em machos castrados. A carne de machos não castrados tornou-se mais macia após a maturação, porém, não houve aumento do índice de fragmentação miofibrilar. O fato desta condição sexual se diferir das demais por sua composição corporal, sugere que o amaciamento de sua carne pode estar associado com fatores como o aporte de fibras musculares e processos enzimáticos específicos ao tipo de metabolismo, determinado pelo aporte de fibras, sendo importante a realização de mais estudos afim de permitir sua modulação para o aprimoramento e maximização do processo de maturação e amaciamento da carne.

REFERÊNCIAS

AMERICAN MEAT SCIENCE ASSOCIATION (AMSA). **Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation, and Instrumental Tenderness Measurements of Meat**. 2. ed. Champaign, Illinois: AMSA, 2016. 105p.

ANDREO, N. et al. Influência da imunocastração (Bopriva®) no ganho de peso, características de carcaça e qualidade da carne de bovinos Nelore. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6Supl2, p. 4121, 17 dez. 2013.

BAILEY, A. J.; LIGHT, N. D. Connective tissue in meat and meat products. **Elsevier Applied Science**, 1989.

BERG, R.T.; BUTTERFIELD, R. M. New concepts of livestock growth. Sydney: **Sydney University Press**, p. 240, 1976.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal - RIISPOA. Brasília, DF, 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regulamento Técnico de Métodos de Insensibilização para o Abate Humanitário de Animais de Açougue. Brasília, DF, 2000.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. ComexVis - Importações de carne bovina fresca, refrigerada ou congelada, 2021. Disponível em: Comex Stat - ComexVis (mdic.gov.br). Acesso em: 07 dez. 2022.

BURSON, D. E.; HUNT, M. C.; UNRUH, J.A. Proportion of types I and III collagen in Longissimus collagen from bulls and steers. **Journal of Animal Science**, v. 63, n. 2, p. 453-456, 1986.

CHRIKI, S. et al. Meta-analysis of the relationships between beef tenderness and muscle characteristics. **Livestock Science**, v. 155, n. 2-3, p. 424-434, 2013.

CONTRERAS-CASTILLO, C. J. et al. The effect of electrical stimulation on post mortem myofibrillar protein degradation and small heat shock protein kinetics in bull beef. **Meat Science**, v. 113, p. 65–72, 2016.

CROSS, H. R. et al. 1973. Effects of intramuscular collagen and elastin on bovine muscle tenderness. **Journal of Food Science**, v. 38, p.998-1003, 1973.

CULLER, R. D. et al. Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine longissimus muscle. **Journal Food Science**, v. 43, n. 4, p.1177-1180, 1978.

FERRAZ, J. B. S.; FELÍCIO, P. E. Sistemas de produção – Um exemplo do Brasil. **Ciência da Carne**. 84, 238–243. 568 de 2010.

FRITSCHÉ, S.; STEINHART, H. Differences in the natural hormonal patterns of beef steroids from bulls and steers. **Journal of Animal Science**, v. 76, n. 6, p. 1621-1625, 1998.

GERRARD, D. E.; JONES, S. J.; ABERLE. Collagen E.D. stability, testosterone secretion and meat tenderness in growing bulls and steers. **Journal of Animal Science**, v. 65, n. 5, p. 1236-1242, 1987.

GOLL, D. E. et al. The Calpain System. *Physiological Reviews*, v. 83, n. 3, p. 731–801, jul. 2003.

GORNALL, A. G. et al. Determination of serum protein by means of the biuret reaction. **Journal Biology Chemical**, v. 177, n. 2, p.751-766, 1949.

HERRERA-MENDEZ, C. H. et al. Meat ageing: Reconsideration of the current concept. **Trends in Food Science and Technology**, v. 17, n. 8, p. 394–405, 2006.

HONIKEL, K. O. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. **Meat Science**, v. 49, n. 4, p. 447-457, 1998.

HUFF-LONERGAN, E.; PARRISH, F. C.; ROBSON, R. M. Effects of postmortem aging time, animal age, and sex on degradation of titin and nebulin in bovine longissimus muscle. **Journal of Animal Science**, v.73, p.1064-1073, 1995.

KIM, Y. H. B. et al. Understanding postmortem biochemical processes and postharvest aging factors to develop novel smart-aging strategies. **Meat Science**, v. 144, n. April, p. 74–90, out. 2018.

KOOHMARAIE, M. et al. Meat tenderness and muscle growth: is there any relationship? **Meat Science**, Nebraska, v. 62, p. 345-352, 2002.

KOOHMARAIE, M. Muscle proteinases and meat aging. **Meat Science**, v. 36, n. 1-2, p. 93-104, 1994.

LANA, A.; ZOLLA, L. Apoptosis or autophagy, that is the question: Two ways for muscle sacrifice towards meat. Trends in **Food Science and Technology**, v. 46, n. 2, p. 231–241, 2015.

LATORRE, M. E.; IEZZI, S.; CHRISTENSEN, S.; PURSLOW, P. P. Castrated against entire male cattle; meat quality and connective tissue properties. **Journal of Agricultural Research**, 43(1), 72-77, 2017.

LAWRENCE, R. W. et al. The efficacy of a vitamin D3 metabolite for improving the myofibrillar tenderness of meat from *Bos indicus* cattle. **Meat Science**, Barking, v.72, p.69-78, 2006.

LISTRAT, A. et al. Contribution of connective tissue components, muscle fibres and marbling to beef tenderness variability in longissimus thoracis, rectus abdominis, semimembranosus and semitendinosus muscles. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 6, p. 2502–2511, 9 abr. 2020.

LOMIWES, D. et al. The development of meat tenderness is likely to be compartmentalised by ultimate pH. **Meat Science**, v. 96, n. 1, p. 646–651, 2014.

MA, D.; KIM, Y. H. B. Proteolytic changes of myofibrillar and small heat shock proteins in different bovine muscles during aging: Their relevance to tenderness and water-holding capacity. **Meat Science**, v. 163, n. November 2019, p. 108090, 2020.

MALHEIROS, J. M.; BRAGA, C. P.; GROVE, R. A.; RIBEIRO, F. A.; CALKINS, C. R.; ADAMEC, J.; CHARDULO, L. A. L. Influence of oxidative protein damage on meat tenderness using a proteomic approach. **Meat Science**, v. 148, p. 64-71, 2019.

MERA, Juan Dario Rios. **Impacto final do pH na massa muscular de Longissimus lumborum de animais zebuínos: alterações estruturais das proteínas da carne crua e cozida durante a maturação**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. 2016.

MOITINHO, F. **Brasil, maior exportador global de carne bovina, importou 50,8 mil toneladas premium em 2020**. Portal DBO. 2021. Disponível em: Brasil, maior exportador global de carne bovina, importou 50,8 mil toneladas premium em 2020 • Portal DBO. Acesso em: 28 dez 2022.

MORGAN, J.B.; WHEELER, T.L.; KOOHMARAIE, M.; CROUSE, J.D.; SAVELL, J. M. Effect of castration on myofibrillar protein turnover, endogenous proteinase activities and muscle growth in bovine skeletal muscle. **Journal of Animal Science**, Albany, v. 71, p 408-414, fev, 1993.

MUCHENJE, V. et al. Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health: A review. **Food Chemistry**, v. 112, n. 2, p. 279–289, jan. 2009.

MUELLER, Lenise Freitas et al. Effect of gender status on carcass and meat quality traits in Angus x Nellore cattle. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 8, p. 1078-1089, 2019.

O'CONNOR, S. F.; TATUM, J. D.; WULF, D. M.; GREEN, R. D.; SMITH, G. C. Genetic effects on beef tenderness in composite Bos indicus and Bos taurus cattle. **Journal of Animal Science**, v. 75, n. 7, p. 1822-1830, 1997.

OUALI, A. et al. Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. **Meat Science**, v. 74, n. 1, p. 44-58, 2006.

OLIVEIRA, L. B.; SOARES, G. J. D.; ANTUNES, P. L. Influência da maturação de carne bovina na solubilidade do colágeno e perdas de peso por cozimento. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.4, n. 3, p. 166 – 171, 1998.

PADUA, J. T.; OLIVEIRA, M. P.; SILVA, L. A. F.; VIEIRA, L. S.; FIGUERÊDO, E. J.; MORALES, D. C. S. P.; CARRIJO, L. H. D.; MARTINS, A. F. C. Efeito de métodos de castração e do uso de vermífugos sobre o ganho em peso de bovinos mestiços leiteiros. **Ciência Animal Brasileira**, v. 4, n. 1, p. 33-43, 2003.

PURSLOW, P.P. Contribution of collagen and connective tissue to cooked meat toughness; some paradigms reviewed. **Meat Science**, 144, 127-134, 2018.

ROBERT, N. et al. The effect of proteasome on myofibrillar structures in bovine skeletal muscle. **Meat Science**, v. 51, n. 2, p. 149–153, fev. 1999.

SEIDEMAN, S. C.; CROSS, H. R.; OLTJEN, R. R.; SCHANBACHER, B. D. Use of the Intact Male for Red Meat Production: A Review. **Journal of Animal Science**, v. 55, p. 826-840, 1982.

SENTANDREU, M. A.; COULIS, G.; OUALI, A. Role of muscle endopeptidases and their inhibitors in meat tenderness. **Trends in Food Science e Technology**, France, v.13, p. 400 – 421, 2002.

SILVA, J. A.; PATARATA, L.; MARTINS, C. Influence of ultimate pH on bovine meat tenderness during ageing. **Meat Science**, Vila Real, Portugal, v. 52, p. 453- 459, 1999.

TORNBERG, E. Effects of heat on meat proteins? Implications on the structure and quality of meat products. **Meat Science**, Barking, v. 70, n. 3, p. 493-508, 2005.

WHEELER, T. L.; SHACKELFORD, S. D.; KOOHMARAIE, M. Variation in proteolysis, sarcomere length, collagen content, and tenderness among major pork muscles. **Journal of Animal Science**, v. 78, n. 4, p. 958–965, 2000.

WHIPPLE, G. et al. Evaluation of attributes that affect longissimus muscle tenderness in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. **Journal of Animal Science**, v. 68, n. 9, p. 2716-2728, 1990.

WOESSNER JUNIOR, J. F. 1961. The determination of hydroxyproline in tissue and protein samples containing small proportions of this amino acid. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, Miami, v. 93, p. 440-447, 1961.

WULF, D. M.; TATUM, J. D.; GREEN, R. D.; MORGAN, J. B.; GOLDEN, B. L.; SMITH, G. C. Genetic influences on longissimus palatability of beef in charolais and limousine steers and heifers. **Journal of Animal Science**, v. 74, n. 10, p. 2394-2405, 1996.