

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

ANA JULIA AMARAL HAYASHIDA

Influência da taxa de crescimento na recria e da condição sexual nas características de carcaça e qualidade da carne de bovinos Nelore terminados em confinamento

Pirassununga

2024

ANA JULIA AMARAL HAYASHIDA

Influência da taxa de crescimento na recria e da condição sexual nas características de carcaça e qualidade da carne de bovinos Nelore terminados em confinamento

Dissertação apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências do programa de Zootecnia.

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal

Orientador: Prof. Dr. Saulo da Luz e Silva

Pirassununga

2024

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP, com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a)

H413i Hayashida, Ana Julia Amaral
Influência da taxa de crescimento na recria e da
condição sexual nas características de carcaça e
qualidade da carne de bovinos Nelore terminados em c
/ Ana Julia Amaral Hayashida ; orientador Saulo da Luz e
Silva. -- Pirassununga, 2024.
79 f.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
em Zootecnia) -- Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo.

1. Taxa de crescimento. 2. Condição sexual. 3.
Características de carcaça. 4. Qualidade da carne. I. Silva,
Saulo da Luz e, orient. II. Título.

Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte - o autor

AGRADECIMENTOS

À minha família, meu pai Alvaro, minha mãe Ceci e minha irmã Maria Clara por sempre me apoiarem e serem fundamentais na busca dos meus sonhos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Saulo da Luz e Silva pela oportunidade de realizar meu mestrado no LAAQC e por todos os aprendizados e conhecimento adquiridos ao longo desse período.

A todos meus colegas pós-graduandos e companheiros de laboratório, e em especial à Luiza por todo auxílio no nosso experimento.

A todos aqueles que tenho a honra de chamar de amigos, por todo apoio ao longo desses anos.

A Mariane, por ter me ensinado tanto, e mesmo de longe continua sempre tendo um papel tão importante na minha jornada.

Aos funcionários do CEBER, da Bovinocultura de Corte e do Abatedouro; sem vocês a realização do experimento não teria sido possível.

A todos os estagiários que participaram de alguma forma durante todo esse tempo.

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



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos
Comitê de Ética em Pesquisa da FZEA

CERTIFICADO

Certificamos que a proposta intitulada "Efeito da taxa de crescimento pós-desmama e da condição sexual sobre desempenho, composição de carcaça, qualidade da carne e metabolismo muscular pós-morte de bovinos Nelore jovens abatidos com mesmo acabamento de carcaça", protocolada sob o CEUA nº 9413210121 (ID 001670), sob a responsabilidade de **Saulo da Luz E Silva** - que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica ou ensino - está de acordo com os preceitos da Lei 11.794 de 8 de outubro de 2008, com o Decreto 6.899 de 15 de julho de 2009, bem como com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi **aprovada** pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo - FZEA/USP (CEUA/FZEA) na reunião de 15/05/2021.

We certify that the proposal "Effects of post-weaning growth rate and sexual condition on performance, carcass composition, meat quality and postmortem muscle metabolism of young Nelore cattle slaughtered at the same carcass fatness degree", utilizing 72 Bovines (72 males), protocol number CEUA 9413210121 (ID 001670), under the responsibility of **Saulo da Luz E Silva** - which involves the production, maintenance and/or use of animals belonging to the phylum Chordata, subphylum Vertebrata (except human beings), for scientific research purposes or teaching - is in accordance with Law 11.794 of October 8, 2008, Decree 6899 of July 15, 2009, as well as with the rules issued by the National Council for Control of Animal Experimentation (CONCEA), and was **approved** by the Ethic Committee on Animal Use of the School of Animal Science and Food Engineering - (São Paulo University) (CEUA/FZEA) in the meeting of 05/15/2021.

Finalidade da Proposta: [Pesquisa \(Acadêmica\)](#)

Vigência da Proposta: de [06/2021](#) a [08/2022](#)

Área: [Bovinocultura de Corte](#)

Origem: [Prefeitura do Campus USP Fernando Costa](#)

Espécie: [Bovinos](#)

sexo: [Machos](#)

idade: [8 a 22 meses](#)

N: [72](#)

Linhagem: [Nelore](#)

Peso: [250 a 380 kg](#)

Local do experimento: [Recría a pasto na PUSP-FC Confinamento - Departamento de Zootecnia ZAZ/PUSP-FC](#)

Pirassununga, 10 de junho de 2021

Prof. Dra. Cristiane Gonçalves Titto
Coordenadora da Comissão de Ética no Uso de Animais
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da
Universidade de São Paulo - FZEA/USP

Prof. Dra. Daniele dos Santos Martins
Vice-Cordenadora da Comissão de Ética no Uso de Animais
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da
Universidade de São Paulo - FZEA/USP



USP - FACULDADE DE
ZOOTECNIA E ENGENHARIA
DE ALIMENTOS DA
UNIVERSIDADE DE SÃO



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Efeito da taxa de crescimento pós-desmama e da condição sexual sobre as características de qualidade da carne de bovinos Nelore abatidos com mesmo grau de acabamento de carcaça

Pesquisador: ANA JULIA AMARAL HAYASHIDA

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 64176822.4.0000.5422

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE DE SAO PAULO

Patrocinador Principal: FUNDAÇÃO DE AMPARO A PESQUISA DO ESTADO DE SAO PAULO

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.777.039

Apresentação do Projeto:

As informações a seguir foram retiradas do documento "PB – Informações Básicas do Projeto".

INTRODUÇÃO: O aumento da eficiência produtiva da bovinocultura de corte passa pela elaboração de estratégias que considerem fatores como raça, melhoramento genético, condição sexual, manejos reprodutivo e nutricional, além do uso de práticas que promovam o bem-estar dos animais. Entre esses fatores, o uso de machos castrados ou não-castrados, tem grande relevância, pois a condição sexual é uma característica que interfere significativamente na qualidade de carne, nas práticas de manejo e no bem-estar dos animais. Machos castrados possuem um comportamento mais dócil comparado aos não-castrados (Marti et al., 2015; Nedham et al., 2017), o que contribui para a redução de contusões nas carcaças no momento do abate. A maior agressividade, observada nos machos não-castrados tem sido associada a problemas de qualidade da carne (Ponnampalam et al., 2017), em

função da depleção das reservas de glicogênio muscular pré-abate (Immonen et al., 2000) e,

consequentemente, pH final das carcaças elevado (>5,8). Um pH final elevado da carcaça resulta em carne seca, firme e escura, popularmente conhecida como DFD (do inglês dry, firm and dark), com menor vida útil, cor escura indesejável e menor sabor (Immonen et al., 2000). Machos não-

Endereço: Campus USP "Fernando Costa", Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Prédio Central, Corredor
Bairro: Jd. Elite **CEP:** 13.635-000
UF: SP **Município:** PIRASSUNUNGA
Telefone: (19)3565-8759 **E-mail:** cep@zea@usp.br



**USP - FACULDADE DE
ZOOTECNIA E ENGENHARIA
DE ALIMENTOS DA
UNIVERSIDADE DE SÃO**



Continuação do Parecer: 5.777.038

crescimento pós-desmama e da condição sexual sobre as características de qualidade da carne de bovinos Nelore abatidos com mesmo grau de acabamento de carcaça.

RESPOSTA: A alteração foi realizada na Folha de Rosto

ANÁLISE: Pendência atendida

PENDÊNCIA 2: Folha de rosto X Documento PB: o número de participantes de pesquisa está diferente nos dois documentos (360 X 120).

RESPOSTA: A alteração foi realizada na Folha de Rosto.

ANÁLISE: Pendência atendida.

Considerações Finais a critério do CEP:

Diante do exposto, o Comitê de Ética em Pesquisa – CEP, de acordo com as atribuições definidas na Resolução CNS n.º 510, de 2016, na Resolução CNS n.º 466, de 2012, e na Norma Operacional n.º 001, de 2013, do CNS, manifesta-se pela aprovação do protocolo de pesquisa proposto.

Ressalta-se que cabe ao pesquisador responsável encaminhar os relatórios da pesquisa por meio da Plataforma Brasil, via notificação do tipo "relatório" para que sejam devidamente apreciadas no CEP, conforme Resolução CNS n.º 466/12, item XI.2d e Resolução CNS n.º 510/16, art.28, item V.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB INFORMACOES_BASICAS_DO_PROJETO_2029191.pdf	02/11/2022 09:48:04		Aceito
Outros	Ficha_Sensorial.pdf	02/11/2022 09:47:10	ANA JULIA AMARAL HAYASHIDA	Aceito
Parecer Anterior	Parecer_Anterior.pdf	02/11/2022 09:43:36	ANA JULIA AMARAL HAYASHIDA	Aceito
Outros	Carta_Resposta.pdf	02/11/2022 09:41:52	ANA JULIA AMARAL HAYASHIDA	Aceito
Folha de Rosto	Folha_Rosto.pdf	02/11/2022 09:40:42	ANA JULIA AMARAL HAYASHIDA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Sensorial_SLS.pdf	14/10/2022 07:52:10	ANA JULIA AMARAL HAYASHIDA	Aceito

Endereço: Campus USP "Fernando Costa", Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Prédio Central, Corredor
Bairro: Jd. Elia **CEP:** 13.635-900
UF: SP **Município:** PIRASSUNINGA
Telefone: (19)3598-6750 **E-mail:** cep@cepeg.usp.br



USP - FACULDADE DE
ZOOTECNIA E ENGENHARIA
DE ALIMENTOS DA
UNIVERSIDADE DE SÃO



Continuação do Parecer: 5.777.038

TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.pdf	14/10/2022 07:51:32	ANA JULIA AMARAL HAYASHIDA.	Aceito
---	----------	------------------------	--------------------------------	--------

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

PIRASSUNUNGA, 24 de Novembro de 2022

Assinado por:
MONICA ROBERTA MAZALLI MEDINA
(Coordenador(a))

Endereço: Campus USP "Fernando Costa", Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Prédio Central, Corredor
Bairro: Jd. Elite CEP: 13.635-900
UF: SP Município: PIRASSUNUNGA
Telefone: (19)3585-6759 E-mail: ccpfzsa@usp.br

Resumo

A taxa de crescimento e a condição sexual são fatores que influenciam na qualidade da carne. De modo geral, animais que crescem mais rapidamente são abatidos mais jovens e possuem melhores características de qualidade de carne. Machos não-castrados têm maior ganho de peso e maior eficiência alimentar, mas depositam menos gordura na carcaça, quando comparados com machos castrados. A baixa quantidade de gordura está associada com problemas de qualidade e por isso a carne de machos não-castrados possui normalmente uma menor aceitação por parte dos consumidores. Por outro lado, a castração favorece a deposição de gordura, com um impacto positivo na qualidade. Porém a castração cirúrgica tem um impacto negativo no bem-estar dos animais, além de reduzir o desempenho, em comparação aos machos não-castrados. Este estudo foi desenvolvido para avaliar o efeito da taxa de crescimento durante a recria e da condição sexual sobre as características de qualidade da carne, considerando um sistema de produção onde os animais são abatidos jovens (< 24 meses de idade) e acabamento adequado de gordura (>4 mm de gordura subcutânea). Setenta e dois bezerros machos da raça Nelore, com peso médio inicial de 200 ± 30 kg e idade média de 9 meses foram divididos em 2 grupos: BG) Baixo ganho de peso: 36 animais foram mantidos em pastagem, recebendo apenas suplemento mineral, visando um ganho médio diário de 0,3 kg/dia; AG) Alto ganho de peso– 36 animais foram mantidos em pastagem e receberam suplemento proteico-energético para atingir um ganho médio diário de aproximadamente 0,7 kg/dia. Cada grupo foi dividido em 2 lotes de 18 animais, os quais foram mantidos em pastagem por aproximadamente 7 meses. Sessenta dias antes do início do confinamento, os animais foram subdivididos em 3 grupos: CS – castrados cirurgicamente (n=24); IM – imunocastrados; NC – Não-castrados. Os animais foram mantidos em confinamento até que atingissem uma espessura de gordura mínima de 5 mm, quando foram então abatidos. Após o abate foram colhidas amostras para avaliação de características de qualidade da carne e análise de aceitação sensorial. Animais não castrados apresentaram maior PCQ independente da taxa de ganho ($P < 0,001$) e animais do grupo AG apresentaram maior AOL independente da condição sexual ($P = 0,007$). Ademais não foram encontradas diferenças entre os tratamentos para os valores de pH, comprimento de sarcômero, maciez e concentração de glicogênio muscular. Os resultados obtidos no presente estudo indicam que animais abatidos jovens e com acabamento de gordura adequado não diferem nas suas características de qualidade de carne, independente da sua condição sexual; embora a percepção sensorial dessas características por parte do consumidor, pareçam estar mais fortemente relacionadas à taxa de crescimento durante o período de recria.

Palavras-chave: Taxa de crescimento, condição sexual, qualidade de carne

Abstract

Growth rate and sexual condition are factors that influence meat quality. In general, animals that grow faster are slaughtered younger and have better meat quality characteristics. Non-castrated males have greater weight gain and greater feed efficiency, but deposit less fat on the carcass, when compared to castrated males. The low amount of fat is associated with quality problems and therefore the meat of non-castrated males is often less accepted by consumers. On the other hand, castration favors the deposition of fat, with a positive impact on quality. However, surgical castration has a negative impact on animal welfare, in addition to reducing weight gain, in comparison to non-castrated males. This study was developed to evaluate the effect of growth rate during rearing and sexual condition on meat quality characteristics, considering a production system where animals are slaughtered young (< 24 months of age) and with adequate fat finishing (>4 mm of subcutaneous fat). Seventy-two male Nelore calves, with an average initial weight of 200 ± 30 kg and an average age of 9 months, were divided into 2 groups: LG) Low weight gain weight: 36 animals were kept on pasture, receiving only mineral supplements, aiming for an average daily gain of 0.3 kg/day; HG) High weight gain – 36 animals were kept on pasture and received a protein-energy supplement to achieve an average daily gain of approximately 0.7 kg/day. Each group was divided into 2 batches of 18 animals, which were kept on pasture for approximately 7 months. Sixty days before the start of the feedlot, the animals were subdivided into 3 groups: SC – surgically castrated (n=24); IM – immunocastrated; NC – non-castrated. The animals were kept in feedlot until they reached a minimum fat thickness of 5 mm, when they were then slaughtered. After slaughter, samples were taken to evaluate meat quality characteristics and sensory acceptance analysis. Non-castrated animals showed higher HCW regardless of the gain rate ($P < 0.001$) and animals in the HG group showed higher LMA regardless of sexual condition ($P = 0.007$). Furthermore, no differences were found between treatments for pH values, sarcomere length, tenderness, and muscle glycogen concentration. The results obtained in the present study indicate that animals slaughtered young and with adequate fat finishing do not differ in their meat quality characteristics, regardless of their sexual condition, although the consumer's sensory perception of these characteristics appears to be more strongly related to the growth rate during the rearing period.

Keywords: Growth rate, sexual condition, meat quality

SUMÁRIO

1. Introdução.....	13
2. Revisão de Literatura.....	15
2.1 Crescimento Animal.....	15
2.2 Condição Sexual, Função Testicular e Castração.....	18
2.3 Tecido Muscular.....	20
2.4 Tipos de Fibras Musculares.....	24
2.5 Conversão do Músculo em Carne.....	28
2.6 Declínio de pH Pós-Morte.....	30
2.7 Qualidade da Carne.....	31
2.8 Influência da Taxa de Crescimento na Qualidade da Carne.....	34
2.9 Influência da Condição Sexual na Qualidade da Carne.....	35
3. Hipótese.....	38
4. Objetivos.....	39
5. Material e Métodos.....	39
5.1 Animais e Alimentação.....	39
5.1.1 Sistema de Recria à Pasto.....	39
5.1.2 Sistema de Terminação em Confinamento.....	42
5.2 Abate e Coleta de Amostras.....	43
5.2.1 Cor, Força de Cisalhamento e Perdas por Cocção.....	45
5.2.2 Comprimento de Sarcômero.....	48
5.2.3 Análise Estatística.....	48
6. Resultados.....	49
6.1 Características de Carcaça.....	49
6.2 pH e Temperatura.....	49
6.3 Cor.....	51
6.4 Perdas por Cocção.....	52
6.5 Maciez.....	54
6.6 Comprimento de Sarcômero.....	55
6.7 Análise Sensorial.....	56
6.8 Composição Centesimal.....	57
6.9 Glicogênio Muscular.....	58
7. Discussão.....	58
7.1 Características de Carcaça.....	58
7.2 pH e Temperatura.....	61
7.3 Cor.....	62
7.4 Perdas por Cocção.....	62

7.5 Maciez.....	64
7.6 Comprimento de Sarcômero.....	64
7.7 Análise Sensorial.....	65
7.8 Composição Centesimal.....	66
7.9 Glicogênio Muscular.....	67
8. Referências.....	69

1. INTRODUÇÃO

Conforme aumenta a população mundial, aumenta também a procura por produtos de origem animal. O Brasil é um importante produtor e exportador de carne bovina, o que gera uma busca cada vez maior por estratégias produtivas que foquem em traços que podem suprir tanto a demanda quanto as exigências dos consumidores por carne de qualidade superior.

O aumento da eficiência produtiva da bovinocultura de corte no Brasil passa pela elaboração de estratégias que considerem fatores como raça, melhoramento genético, condição sexual, manejos reprodutivo e nutricional, além do uso de práticas que promovam o bem-estar dos animais.

O manejo nutricional, por exemplo, influencia diretamente a taxa de crescimento independente da categoria animal. Essa taxa de crescimento afeta desde o metabolismo muscular até a aceitação do produto pelo consumidor. Animais que crescem mais rapidamente, possuem, de maneira geral, uma carne mais macia e com melhor textura quando avaliada por painel sensorial.

Ademais, uma taxa de crescimento mais acelerada também faz com que os animais atinjam o peso de abate mais rapidamente e sejam conseqüentemente, abatidos mais jovens. A idade ao abate também está fortemente relacionada às características de qualidade de carne.

Alterar a condição sexual dos animais também tem sido uma estratégia amplamente utilizada para modular o resultado desejado tanto para características de carcaça quanto para características de qualidade de carne. Bovinos machos castrados possuem um comportamento mais dócil comparado aos não-castrados, o que facilita o manejo e contribui para a redução de contusões nas carcaças no momento do abate. A maior agressividade, observada nos machos não-castrados tem sido frequentemente associada a problemas de qualidade da carne. No entanto, machos não-castrados são mais eficientes e ganham peso mais rapidamente, além de apresentarem um maior rendimento de carcaça quando comparados com animais castrados.

Apesar de machos castrados apresentarem um menor desempenho, em contrapartida apresentam uma maior deposição de gordura e melhores características de qualidade de carne quando comparados a animais não-castrados. Apesar de apresentar diversas vantagens, a castração, quando realizada pelo

método cirúrgico tradicional, traz uma série de implicações, pois, além de prejudicar o desempenho dos animais, é considerada prejudicial do ponto de vista do bem-estar animal.

Assim, a imunocastração surge como uma alternativa à castração tradicional, com estudos que demonstraram seu potencial como estratégia para reduzir a agressividade dos animais, aumentar a deposição de gordura e, conseqüentemente a qualidade da carne em comparação aos não-castrados, enquanto reduz o estresse animal promovido pela castração.

É possível inferir que a imunocastração pode ser uma prática viável para aumentar a eficiência de produção e ao mesmo tempo produzir uma carne com melhores características sensoriais. Obviamente, outros aspectos estão envolvidos nessa equação, como custo do produto e manejos adicionais, entre outros, porém essa técnica pode ser mais uma alternativa à disposição da cadeia produtiva.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Crescimento Animal

De acordo com Black (1988) e Owens et al. (1995), o crescimento animal pode ser definido como o acréscimo de proteína, gordura e ossos ao longo do tempo, que refletem em mudanças de tamanho, desenvolvimento e de estrutura de vários órgãos e tecidos. O crescimento é contínuo durante a vida do animal, se iniciando na fase da formação de zigoto até que o animal atinja seu peso maduro na fase adulta (ARANGO & VAN VLECK, 2002). Grande parte do crescimento fetal em bovinos ocorre durante o terço final da gestação (GREENWOOD & DUNSHEA 2009) e o nascimento e o desenvolvimento pós-natal inicial são caracterizados pela maturação de órgãos essenciais para sobrevivência e o crescimento subsequente (MOLONEY & MCGEE 2023). Embora ossos e músculos continuem a crescer de maneira linear na fase pós-natal e até atingir a maturidade, o tecido adiposo acelera seu crescimento após a maturidade. Portanto, durante o período de crescimento pós-natal, a porcentagem de ossos e músculos no corpo diminuirá enquanto a de tecido adiposo aumentará com o envelhecimento (NSOSO et al. 1999).

O crescimento tecidual pode se dar por dois mecanismos diferentes: hiperplasia (aumento no número de células) e hipertrofia (aumento no tamanho das células). Em bovinos, a primeira miogênese ocorre nos dois primeiros meses após a concepção (RUSSEL; OTERUELO, 1981), porém, somente um número limitado de fibras é formado (DU et al., 2010). A formação da maior parte dessas fibras acontece durante a fase fetal (entre dois e sete ou oito meses de gestação). Após esse período, o ritmo de formação das fibras diminui e esse processo é finalizado no momento do nascimento (OWENS; DUBESKI; HANSONT, 1993; DU et al., 2010, 2015). Já a hipertrofia tem início no último terço da gestação e é um processo que continua durante toda a vida do animal (OWENS; DUBESKI; HANSONT, 1993). Ela ocorre por meio do acréscimo de proteínas e da proliferação de células satélite musculares, que por sua vez geram núcleos que podem ser incorporados pelas fibras musculares (REHFELDT et al., 2000) até que o teor corporal maduro de massa magra seja atingido.

Por outro lado, a formação de adipócitos em bovinos começa antes da

metade da gestação (BONNET et al., 2010). A maioria dos adipócitos são formados durante o estágio fetal e o início do estágio pós-natal, enquanto o crescimento de tecido adiposo no período pós-natal é mantido pela hiperplasia e, posteriormente, pela hipertrofia dos adipócitos, até que seu tamanho máximo seja atingido (MOLONEY & MCGEE 2023). Na fase adulta, as células tronco do tecido adiposo atuam como um reservatório e permitem a contínua renovação dos adipócitos (GUSTAFSON et al., 2015).

Segundo Owens et al. (1993), o crescimento líquido é a diferença entre a síntese e degradação dos tecidos do corpo, sendo os dois processos contínuos. A relação entre esses dois processos também é conhecida como “*turnover*”. O crescimento e o tamanho do músculo são determinados pelo balanço do *turnover* proteico dentro do músculo. Segundo Koohmaraie et al. (2002) existem três cenários que podem levar a hipertrofia do músculo: o primeiro é um incremento na síntese e diminuição na degradação da proteína; o segundo, o incremento da síntese e a degradação da proteína, de maneira que o incremento na síntese de proteína seja maior que o incremento na degradação, e, por último, pela diminuição da síntese e a degradação de proteína, de modo que a diminuição na degradação de proteína seja maior que a diminuição na síntese da mesma.

De acordo com Owens et al. (1995), os órgãos e tecidos corporais não amadurecem simultaneamente. Desse modo, a taxa de crescimento dos tecidos do corpo pode mudar ao longo do tempo baseado no crescimento relativo de vários tecidos.

Quando os animais são criados em condições alimentares e ambientais "ideais", o padrão de crescimento ou curva de crescimento tem formato de S ou sigmoidal (BLACK, 1988). Essa curva (Figura 1) é composta por pontos que representam a concepção, o nascimento, a fase de auto-aceleração, o ponto de inflexão (frequentemente associado à puberdade), a fase auto-retardadora, e pôr fim a maturidade (OWENS et al., 1993). Além disso, a composição corporal do animal é influenciada por fatores extrínsecos (tais como ambiente, nutrição, atividade física, entre outros) e intrínsecos (tais como idade, sexo, raça, entre outros) (OWENS et al., 1995; GERRARD & GRANT, 2007). Nos machos, a remoção da função testicular, por exemplo, seja por castração cirúrgica ou imunocastração foi associada com uma marcante queda na taxa de crescimento em animais *Bos indicus* (HERNANDEZ 2005) e uma maior deposição de gordura na carcaça, comparados

com não-castrados em uma mesma idade cronológica (FIELD, 1971; SEIDEMAN, 1982; PURCHAS et al., 2002).

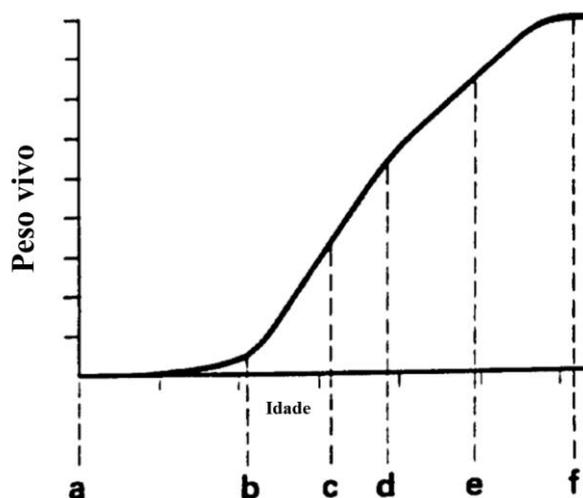


Figura 1. Curva de crescimento seguindo formato sigmoide característica, onde os pontos representam, respectivamente: a) concepção, b) nascimento, c) fase de auto-aceleração, d) ponto de inflexão (frequentemente associado à puberdade), e) fase auto-retardadora, e f) maturidade

Fonte: Adaptado de Owens et al. (1993)

Animais com diferentes taxas de crescimento podem apresentar a mesma idade cronológica, porém diferente idade fisiológica. A idade fisiológica refere-se ao estágio de desenvolvimento que pode ser separado por estágios físicos e químicos específicos, tais como peso, altura, composição corporal, ou puberdade, e é utilizada para estabelecer maturidade (GERRARD e GRANT, 2006). Animais com rápida taxa de crescimento atingem a maturidade mais rapidamente do que animais de baixa taxa de crescimento. Animais que atingem a maturidade tardiamente são mais magros enquanto aqueles precoces depositam mais gordura à mesma idade cronológica pois encontram-se mais avançados na curva de crescimento (Figura 2) (GERRARD e GRANT, 2006). De acordo com os mesmos autores, o aumento do crescimento muscular está associado à hipertrofia de fibras musculares glicolíticas. Sendo assim, quando avaliados em uma mesma idade cronológica, animais precoces apresentarão uma maior proporção de fibras musculares glicolíticas do que animais mais tardios.

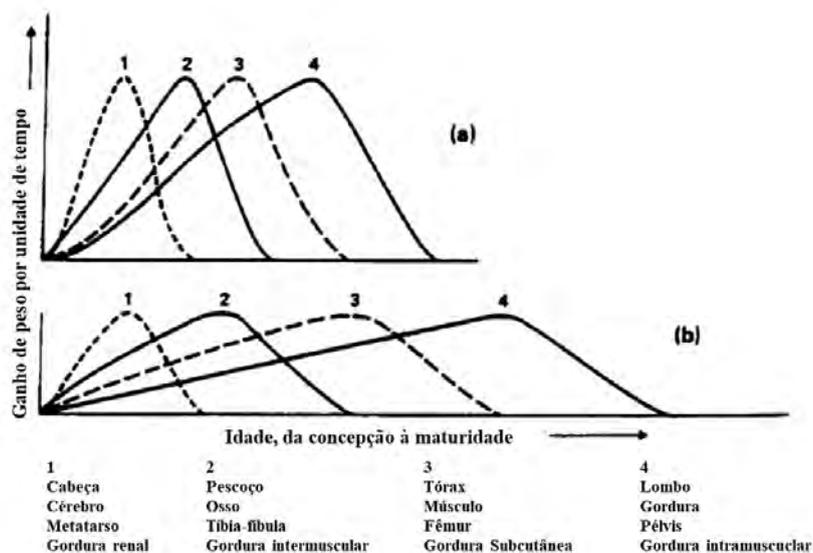


Figura 2. Dinâmica das taxas de crescimento de vários tecidos e vários locais do corpo de animais alimentados para a) taxa de crescimento rápida ou b) taxa de crescimento lenta.

Fonte: Adaptado de Owens et al. (1993)

2.2 Condição sexual, função testicular e castração

A composição da carcaça e a qualidade da carne são afetadas significativamente pela condição sexual (GAGAOUA et al., 2015; WEGLARZ 2010). Machos bovinos castrados tem uma menor performance, uma maior espessura de gordura subcutânea e maior deposição de gordura intramuscular e qualidade de carne superior quando comparados com animais não-castrados (SEIDEMAN 1982; WEGLARZ, 2010). Ademais, animais não-castrados apresentam comportamento mais agressivo, o que dificulta o manejo (BONNEAU & ENRIGHT, 1995) e pode resultar em carnes mais escuras, menos macias e com pH final mais alto (ABERLE et al., 2001).

Nesse sentido, a castração se apresenta como uma prática com potencial para reduzir esses problemas, pois apresenta vantagens como a melhora na qualidade da carcaça através de uma maior deposição de gordura, reduzir a agressividade e comportamento sexual facilitando o manejo e reduzindo contusões na carcaça (AMATAYAKUL-CHANTLER et al., 2012; PÉREZ-LINARES et al., 2017). Outra vantagem da castração está associada à redução da taxa metabólica basal e das

exigências de energia de manutenção dos animais na fase de engorda, com benefício à deposição de gordura (KOLB, 1987; OLIVEIRA et al., 2006)

Apesar de ser uma prática utilizada há décadas, a castração cirúrgica tem sido cada vez mais questionada por não atender às questões de bem-estar animal. A intervenção cirúrgica pode causar grande estresse no animal (BONNEAU & ENRIGHT, 1995) e é associada com redução subsequente imediata na taxa de ganho além de apresentar um alto risco de infecções (MARTI 2017).

A imunocastração, que é uma castração imunológica, tem se apresentado como uma alternativa vantajosa à castração cirúrgica tradicional por apresentar os mesmos benefícios, porém com redução do estresse ou promoção de um maior bem-estar animal (AMATAYAKUL-CHANTLER et al., 2012). Atualmente, a vacina Bopriva® é a única vacina disponível no mercado para imunocastração de bovinos e tem demonstrado boa segurança e eficácia na supressão da testosterona sérica (JANETT et al., 2012a).

Tanto a castração cirúrgica quanto a imunocastração cessam a função testicular, sendo que a principal delas é a secreção de testosterona e outros hormônios esteróides e a produção de espermatozoides. A secreção de testosterona é responsável pelo comportamento sexual em animais não-castrados e por controlar a ação do hormônio luteinizante (LH - BALL, 2006). Quando o animal atinge a puberdade, as liberações pulsáteis de LH hipofisário continuam a estimular as células de Leydig a produzirem testosterona, cujos altos níveis exercem um efeito de *feedback* (ou retroalimentação) negativo no hipotálamo, suprimindo a produção de GnRH o qual conseqüentemente inibirá a secreção de LH pela hipófise anterior (Figura 3; BALL, 2006).

A testosterona por sua vez, é um andrógeno produzido pelas células de Leydig dos testículos, sendo uma pequena quantidade produzida pelo córtex da adrenal. A testosterona desenvolve e mantém as glândulas sexuais acessórias, estimula as características sexuais secundárias, o comportamento sexual e a espermatogênese, além de possuir efeitos anabólicos (HAFEZ, 2004).

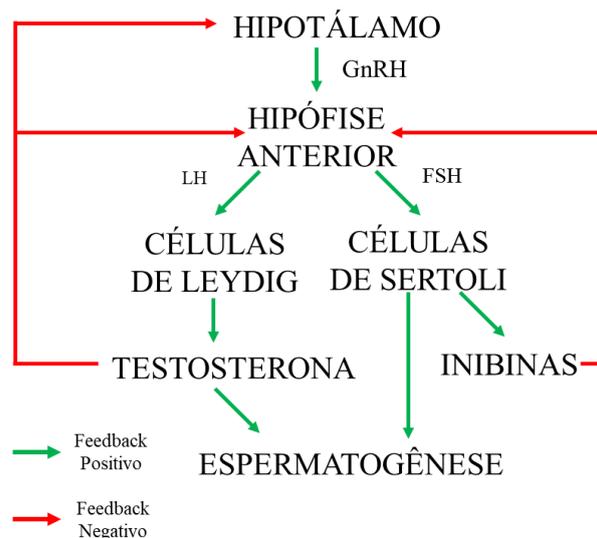


Figura 3: Eixo hipotalâmico-hipofisário-gonadal

Fonte: Modificado de HAFEZ (2004).

2.3 Tecido Muscular

O músculo é o principal componente da carne e pode ser dividido em três categorias: músculo liso, músculo estriado esquelético e músculo estriado cardíaco. Por se apresentar em maior quantidade na carcaça e possuir um valor econômico mais elevado, o músculo esquelético é o mais importante comercialmente dentre as três categorias apresentadas (LUCHIARI FILHO, 2000). Ele possui uma grande variedade de formas, tamanhos, localização anatômica e funções fisiológicas (PURSLOW, 2017). É composto por 90% de fibras musculares e 10% de tecidos conectivo, adiposo, vascular e nervoso, aproximadamente (PURSLOW, 2017), sendo que o início de seu desenvolvimento ocorre durante a fase embrionária (DU et al., 2010). Especialmente as fibras musculares, o tecido conjuntivo e a gordura intramuscular têm grande importância na determinação da qualidade final da carne (LISTRAT et al., 2016).

De acordo com Gerrard e Grant (2007), o tecido conjuntivo é responsável pela integridade estrutural do músculo. No músculo esquelético esse tecido pode ser dividido em endomísio (envolve cada fibra muscular), perimísio (envolve feixes de fibras) e epimísio (envolve o músculo; LISTRAT 2016) (Figura 4). A gordura que é depositada dentro do perimísio, ao redor e entre os feixes de fibras musculares é chamada de marmoreio ou gordura intramuscular (GERRARD; GRANT, 2007;

LISTRAT et al., 2016; PURSLOW, 2017).

As fibras musculares são células individuais e são excepcionalmente grandes quando comparadas com outros tipos celulares. Elas também são multinucleadas e esses núcleos estão localizados periféricamente nas células abaixo do sarcolema. Geralmente, cada célula muscular só é inervada uma vez, por uma terminação nervosa especializada, localizada entre o meio e o terço final da fibra muscular (PURSLOW 2023). As maiores organelas presentes em cada célula muscular são as miofibrilas que ocupam cerca de 80% do volume sarcoplasmático (GERRARD; GRANT, 2007; LISTRAT et al., 2016; PURSLOW, 2017). O retículo sarcoplasmático é uma membrana que envolve cada miofibrila, e tem a função de armazenar e liberar íons de cálcio. As extensões do sarcoplasma perpendicularmente a superfície da célula em direção ao centro da mesma alcançando o retículo sarcoplasmático formam os túbulos T das miofibrilas (PURSLOW 2023).

As mitocôndrias são responsáveis por fornecer energia para as células. O número de mitocôndrias em cada fibra muscular varia, sendo que fibras oxidativas possuem mais mitocôndrias (PURSLOW 2023).

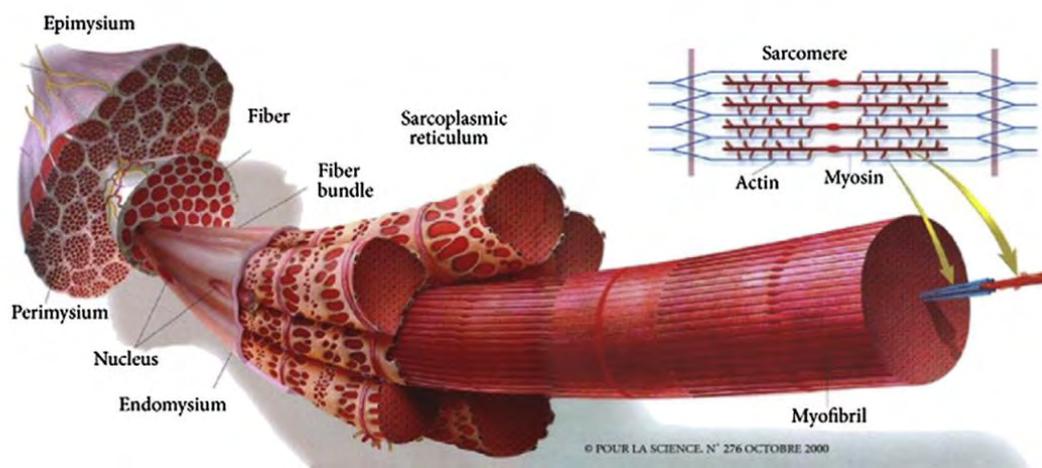


Figura 4: Organização geral do músculo

Fonte: Adaptado de Listrat et al. (2016)

Cada miofibrila é composta por repetidas unidades longitudinais, os sarcômeros (Figura 5). Cada sarcômero é considerado a menor unidade contrátil da

célula muscular e é formado por dois conjuntos de miofilamentos: os filamentos finos, compostos principalmente por proteínas globulares (actina), envoltos por proteínas reguladoras (tropomiosina e troponinas), e os filamentos grossos, compostos principalmente de miosina. A banda A representa o comprimento dos filamentos grossos, sendo que esses mantêm um comprimento constante no músculo. Já a banda I corresponde à distância entre o ponto de sobreposição dos filamentos finos na metade do sarcômero, por meio do disco Z até o ponto de sobreposição na próxima metade do sarcômero subsequente. O comprimento da banda I varia juntamente com a contração e o relaxamento do músculo. A zona H é a região ligeiramente menos densa da banda A, onde os filamentos finos não se sobrepõem aos filamentos grossos. Novamente, o comprimento dessa zona varia de acordo com o comprimento do sarcômero, à medida que o músculo relaxa ou se contrai. No meio da banda A, existe uma estrutura que atravessa transversalmente o sarcômero, a linha M, que estabiliza os filamentos grossos (GERRARD & GRANT, 2006; PURSLOW, 2017).

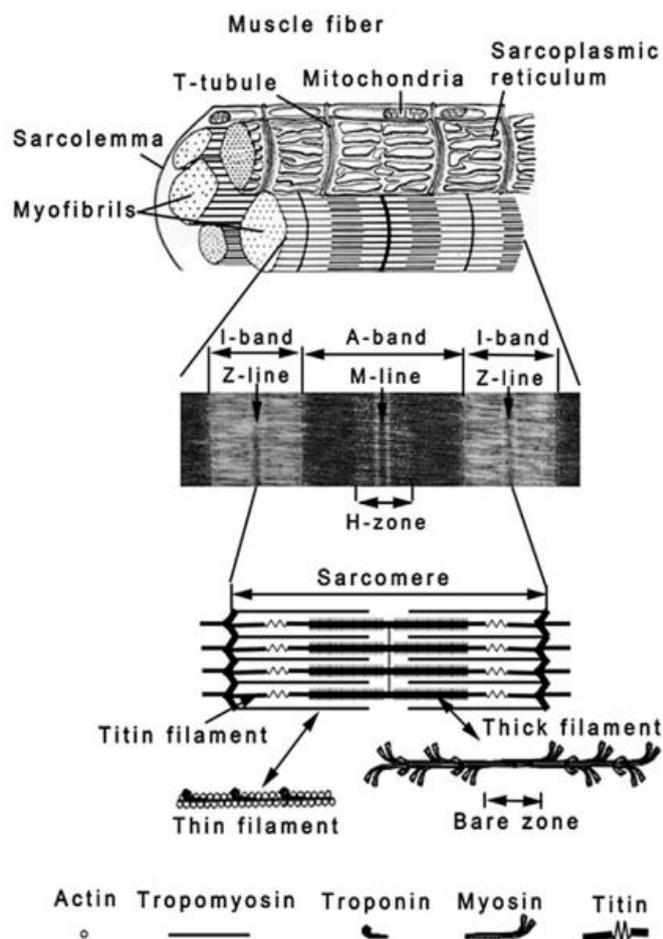


Figura 5: Estrutura interna da fibra muscular

Fonte: Purslow (2017).

Do ponto de vista mecânico, a principal função do músculo esquelético é converter energia química em energia mecânica para gerar força, manter a postura, e produzir movimento (GERRARD & GRANT, 2006). O processo de contração muscular é iniciado pelo estímulo nervoso, que por sua vez é desencadeado por potenciais de ação percorrendo a placa motora. Na extremidade da placa motora ocorre a liberação de acetilcolina (neurotransmissor), que se liga a receptores no sarcolema provocando um influxo de sódio e uma efluxo de potássio através de canais que fazem com que o potencial de ação percorra a fibra.

A ligação excitação-contração é alcançada por esse potencial de ação percorrendo a superfície da fibra muscular e se espalhando para o interior dessa fibra via túbulos T, provocando a liberação de cálcio pelo retículo sarcoplasmático através de canais controlados por cálcio. Quando esse cálcio excede um limiar regulatório, provoca a interação da actina e da miosina, criando um movimento por meio do consumo de ATP (via ATPase miofibrilar), cuja hidrólise converte energia química em energia mecânica. Ou seja, as pontes de miosina durante interações transitórias com ligações do filamento de actina, agem como transdutor biológico de energia (FERGUSON & GERRARD, 2014).

De acordo com Purslow (2023), o ciclo das pontes cruzadas possui quatro etapas (Figura 6). Na primeira etapa, o ATP se liga à cabeça da miosina (que possui atividade da ATPase) fazendo com que ela se desassocie da actina (Etapa 1). Posteriormente, o ATP é hidrolisado à ADP e o músculo volta ao repouso, com a actina sendo bloqueada para se ligar a miosina devido ao complexo troponina-tropomiosina. A partir de um estímulo elétrico, o cálcio é liberado pelo retículo sarcoplasmático, ligando-se ao complexo da troponina, movendo a tropomiosina e permitindo a ligação da cabeça da miosina com a actina (Etapa 2), que libera fosfato inorgânico (Pi) e promove uma mudança na conformação da cabeça, desencadeando um movimento de força (Etapa 3). Finalmente, o ADP é liberado (Etapa 4) e, caso haja ATP disponível, a cabeça da miosina pode se ligar ao ATP, começando novamente o ciclo. A contração é terminada pelo bombeamento de cálcio de volta ao retículo sarcoplasmático, o que leva o complexo troponina-tropomiosina a bloquear a ligação de miosina e actina (PURSLOW 2023). No músculo pós-morte, que possui pouco ATP e altos níveis de cálcio (devido à falha das bombas de cálcio dependentes de ATP), as pontes cruzadas formadas entre a

cabeça da miosina e a actina ficam fixas (PURSLOW 2023).

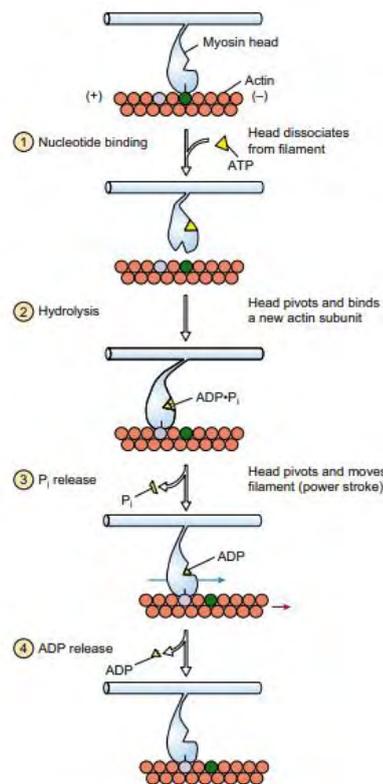


Figura 6. Etapas do processo de contração muscular.

Fonte: Purslow (2017).

2.4 Tipos de Fibras Musculares

É possível diferenciar os tipos de fibras musculares de acordo com diversos critérios, sendo que os mesmos estão relacionados às propriedades moleculares, metabólicas e contráteis das fibras. Assim, elas podem ser agrupadas de acordo com a isoforma da proteína miofibrilar miosina, perfil metabólico enzimático e propriedades contráteis e estruturais (BOTTINELLI e REGGIANI, 2000).

Classificando as fibras por sua velocidade de contração e por seu metabolismo, temos fibras musculares de contração lenta e metabolismo oxidativo, e de contração rápida e metabolismo glicolítico (GERRARD & GRANT, 2006; PURSLOW, 2017). Durante o processo de contração muscular, o ATP é quebrado pela enzima ATPase na cabeça da miosina (PURSLOW, 2017), e a atividade dessa enzima no músculo pode ser utilizada para classificar as fibras de acordo com sua velocidade de contração. A técnica laboratorial

geralmente utilizada para classificação é baseada no método de coloração histoquímica das isoformas de miosina presentes em seções transversais musculares (GERRARD & GRANT, 2006; PURSLOW, 2017). Dessa forma, as fibras podem ser classificadas em tipo I e II, onde as fibras do tipo I apresentam baixa atividade de ATPase (lentas) e as fibras de tipo II apresentam uma maior atividade desta enzima (rápidas) (Brooke & Kaiser, 1970). Os mesmos autores dividiram a categoria do tipo II de acordo com a faixa de pH necessário para inibir a atividade da ATPase, subdividindo o tipo II em tipos IIa, IIb e IIc, com inibição quase completa da atividade da ATPase nos pHs 4.5, 4.3 e 3.9, respectivamente. Existe ainda a fibra tipo IIx, que tem suas características contráteis e de metabolismo similares à fibra tipo IIb, tornando difícil distingui-las em bovinos usando métodos histoquímicos. A velocidade de contração aumenta na ordem de classificação $I < IIa < IIx < IIb$ (SCHIAFFINO & REGGIANI, 1996).

A miosina é o principal componente dos filamentos grossos do músculo esquelético (SCHEFFLER et al., 2018) e compreende cerca de 35% do *pool* (ou conjunto) de proteínas. A atividade de ATPase da cadeia pesada de miosina (MyHC) é fundamental para determinar a velocidade de contração (Barany, 1967). As fibras podem ser “puras” e conter apenas uma isoforma da MyHC, no entanto, uma proporção relativamente alta das fibras pode expressar mais de uma isoforma, particularmente durante períodos adaptativos ou de transição (Schiaffino & Reggiani, 2011).

Assim, a isoforma presente em maior proporção em cada músculo pode ser utilizado para classificá-lo. A proporção dos tipos de fibras musculares (perfil) é resultado da expressão genética, uma vez que cada isoforma é produzida a partir de um gene diferente (Tabela 1). No músculo esquelético de adultos de diversas espécies foram identificadas quatro isoformas: tipo I (contração lenta e metabolismo oxidativo); IIa (contração rápida e metabolismo intermediário); IIx/IIc (contração rápida e metabolismo glicolítico); e IIb (contração rápida e metabolismo glicolítico).

No músculo de bovinos adultos, três isoformas da MyHC são expressas: tipo I, IIa e IIx. Bovinos possuem o gene para a isoforma IIb, e embora existam evidências que a proteína tipo IIb é expressa no músculo esquelético (Picard & Cassar-Malek, 2009), esse não parece ser o caso na maioria das raças (Toniolo,

2005).

Tabela 1: Isoformas de miosina em músculo esquelético de mamíferos.

Gene	Isoforma da cadeia pesada de miosina (MyHC)	Onde é expresso
MYH1	MyHC - IIx	Fibras do tipo IIx
MYH2	MyHC - IIa	Fibras do tipo IIa
MYH4	MyHC - IIb	Fibras do tipo IIb
MYH7	MyHC - I	Fibras do tipo I

Fonte: Adaptado de SCHIAFFINO, S; REGGIANI, C. (2011)

O metabolismo aeróbico é capaz de suprir a demanda energética quando há oxigênio e o músculo está trabalhando sob baixa intensidade. Porém, se a contração prossegue mais rapidamente e as contrações musculares aumentam em frequência e intensidade, o oxigênio torna-se limitante e a via glicolítica anaeróbica rápida passará a atuar para suprir a demanda de energia. (GERRARD & GRANT, 2006; LEFAUCHEUR, 2010; PURSLOW, 2017).

Uma outra maneira de se identificar os tipos de fibras musculares é de acordo com a atividade de enzimas que participam da realização tanto do metabolismo oxidativo quanto do glicolítico (GERRARD e GRANT, 2007). Enzimas presentes na via glicolítica, tais como a lactato desidrogenase (LDH) são mais ativas em fibras musculares brancas, enquanto as enzimas envolvidas na via oxidativa, tais como citrato sintase, prevalecem em fibras musculares vermelhas (PURSLOW, 2017). De acordo com Peter et al. (1972), podemos então classificar as fibras como oxidativa de contração lenta (SO), glicolítica de contração rápida (FG), ou glicolítica-oxidativa de contração rápida (FOG). O mesmo autor completou sua classificação incluindo o sistema de Brooke e Kaiser (1970), e sugeriu que SO correspondesse a fibras musculares do tipo I, FOG ao tipo IIa e FG ao tipo IIb ou IIx (Tabela 2).

Tabela 2: Características de fibras musculares em animais domésticos

CARACTERÍSTICAS	Tipo I	Tipo IIA	Tipo IIX	Tipo IIB
Vermelhidão	++++	+++	+	+
Quantidade de Mioglobina	++++	+++	+	+
Diâmetro da Fibra	+	+	+++	++++
Velocidade de Contração	+	+++	+++	++++
Resistência à Fadiga	++++	+++	+	+
Ação de Contração	Tônico	Tônico	Fásico	Fásico
Número de Mitocôndrias	++++	+++	+	+
Tamanho da Mitocôndria	++++	+++	+	+
Densidade de Capilares	++++	+++	+	+
Metabolismo Oxidativo	++++	++++	+	+
Metabolismo Glicolítico	+	+	+++	++++
Quantidade de Lipídios	++++	+++	+	+
Quantidade de Glicogênio	+	+	++++	++++
Espessura do Disco Z	++++	+++	+	+

Fonte: Adaptado de Gerrard & Grant (2007).

As fibras oxidativas do tipo I apresentam contrações lentas e baixa atividade da enzima ATPase, além de possuírem um menor diâmetro quando comparadas com fibras glicolíticas, permitindo uma difusão mais eficiente do oxigênio (MALTIN 1998). Possuem alta resistência a fadiga, alta vascularização e grande número de mitocôndrias, o que faz com que esse tipo de fibra seja capaz de sustentar atividades prolongadas e de baixa intensidade (GERRARD; GRANT, 2007; PURSLOW, 2017). A maior intensidade de vermelho nesse tipo de fibra está relacionada a uma maior presença de mioglobina, que atua como transportadora de oxigênio.

Já as fibras glicolíticas do tipo Iib e Iix possuem maior diâmetro, mitocôndrias menores em tamanho e quantidade, podem se contrair rapidamente e gerar grandes picos de tensão muscular, porém são altamente fatigáveis (FORREST et al., 1979; BANKS, 1991). Em bovinos são encontradas com maior frequência as fibras dos tipos I, Iia e Iix, sendo escassa a frequência de fibras tipo Iib (GERRARD; GRANT, 2007; LISTRAT et al., 2016; PURSLOW, 2017). Por sua vez, as fibras do tipo Iia possuem características metabólicas e contráteis intermediárias entre os tipos I e Iix

(BANKS et al., 1991).

As fibras musculares são estruturas dinâmicas que podem transicionar entre seus tipos, seguindo uma via obrigatória nos dois sentidos I ↔ IIa ↔ IIx ↔ IIb (LEFAUCHEUR, 2010; SCHIAFFINO; REGGIANI, 2011; LISTRAT et al., 2016). As características das fibras podem ser influenciadas por inúmeros fatores intrínsecos e extrínsecos, tais como a localização muscular, a espécie, a raça, o genótipo, o sexo, a idade, a atividade física, a temperatura ambiente, a nutrição e os agentes promotores do crescimento, além das interações entre eles (LEFAUCHEUR, 2010), sendo que nesse estudo exploraremos mais a influência da condição sexual e da taxa de crescimento. A taxa de diferenciação dessas fibras é variável, e em animais mais jovens, a proporção de fibras tipo I é maior (ASHMORE 1972) e conforme o animal envelhece a proporção de fibras glicolíticas aumentam (GERRARD e GRANT, 2006). Além disso, de acordo com Moran et al. (2017), a castração altera o perfil de fibras musculares, sendo que animais castrados apresentam uma menor proporção de fibras do tipo I e IIa que animais não-castrados.

Devido à essa dinamicidade de propriedades musculares, incluindo a expressão da MyHC e velocidade de contração, é importante avaliar mudanças nas características musculares para gerar uma maior compreensão do impacto de manipulações experimentais no crescimento e fisiologia do músculo, assim como na qualidade da carne (SCHEFFLER, 2018).

2.5 Conversão do Músculo em Carne

Durante o período inicial pós-morte, logo após a exsanguinação, uma complexa série de mudanças energéticas, bioquímicas, e físicas ocorrem no músculo que resultam em sua conversão em carne. O processo começa logo após o abate, quando muitos dos mecanismos homeostáticos do animal são interrompidos.

À medida que ocorre a sangria e o gradativo estabelecimento de anoxia resultante da mesma, o músculo esquelético continua a sintetizar e utilizar adenosina tri-fosfato (ATP) em uma tentativa de manter a homeostase celular. Um pouco depois da sangria, glicogênio e compostos de fosfato de alta

energia presentes no músculo no momento da morte são metabolizados anaerobicamente e aerobicamente com o propósito de produzir ATP. Com o passar do tempo pós-morte há a predominância do metabolismo anaeróbico, uma vez que a oxigenação do músculo foi suprimida. Como resultado, a taxa de hidrólise de ATP excede sua geração, o que desencadeia o início do *rigor mortis*.

À medida que o metabolismo pós-morte prossegue, o músculo perde gradualmente a capacidade de gerar ATP e, eventualmente, todo o ATP é esgotado. Na ausência de ATP, a miosina liga-se irreversivelmente à actina, levando ao estabelecimento do *rigor mortis* e a perda de excitabilidade e extensibilidade muscular. O estabelecimento do *rigor mortis* ocorre entre 1-24 h pós-morte, dependendo principalmente da espécie, tipo de fibra muscular e condições pré e pós-morte (MATARNEH 2023). De acordo com Prates (2000), durante o período pós rigor, a degradação das proteínas miofibrilares pela ação das calpaínas provoca a perda da integridade estrutural do músculo e, assim, uma diminuição da tensão e dureza da carne (resolução do *rigor mortis*) a valores semelhantes aos encontrados anteriormente ao abate.

Outra mudança significativa que ocorre sob condições anaeróbicas no músculo durante o período pós-morte é a acidificação. O produto da glicólise pós-morte e da hidrólise do ATP, lactato e íons de hidrogênio, respectivamente, acumulam no músculo devido à falta de um mecanismo efetivo de eliminação desses metabólitos. Como resultado, o pH muscular cai gradativamente de 7,2 no tecido vivo para um pH final próximo à 5,6, típico da carne bovina.

A taxa e extensão do metabolismo pós-morte influencia significativamente no desenvolvimento dos atributos de qualidade da carne. Uma queda de pH acelerada, retardada ou insuficiente influencia negativamente a cor, textura e capacidade de retenção de água da carne. Fatores como condições ambientais pré e pós abate podem alterar significativamente o declínio do pH pós-morte (MATARNEH 2023). Por exemplo, Ferguson et al. (2008) afirmaram que a taxa de queda do pH em músculos compostos predominantemente por fibras oxidativas (tipo I; ricas em mitocôndrias) é geralmente mais rápida do que em músculos compostos por fibras glicolíticas do tipo IIb (pobres em mitocôndrias).

2.6 Declínio de pH pós-morte

A taxa do declínio do pH durante o processo de conversão do músculo em carne, reflete a intensidade do metabolismo pós-morte. De modo geral, o pH muscular cai gradualmente de aproximadamente 7,2 a próximo de 5,8 nas primeiras 8 horas pós-morte. O pH final de cerca de 5,6, em animais taurinos, é alcançado em 24 horas. A taxa de queda do pH pós-morte é influenciada por diversos fatores, incluindo espécie e sub-espécie, tipo de fibra muscular e condições de manejo pré e pós abate (MATARNEH 2023). Ainda, a taxa de hidrólise do ATP pelas ATPases musculares é responsável por estimular o metabolismo pós-morte (SCOPES 1974), bem como direcionar a taxa e a extensão do declínio de pH.

Caso a queda de pH não ocorra normalmente, valores finais anormais de pH podem ser encontrados (Figura 10). Carnes que apresentam esses valores também apresentam características de qualidade inferiores. Em bovinos, a principal anomalia observada são as carnes DFD (do inglês *dark, firm and dry*), cuja ocorrência está relacionada principalmente à depleção das reservas de glicogênio no momento do abate. Desse modo, não há substrato suficiente para a glicólise pós-morte ocorrer, o que resulta em um limite ao declínio de pH, com valor final elevado (SCHEFFLER 2007).

Não existe um consenso para o valor de pH que define uma carne DFD. Alguns autores consideram uma carne DFD quando pH final é maior do que 5,8 (PAGE 2001; MILLER, 2007) outros quando o pH é maior do que 6,0 (TARRANT, 1989) ou 6,2 (PURCHAS, 1990). O consenso é que para ser classificada como DFD, a carne precisa apresentar pH elevado, cor escura e aparência seca *in natura* (maior capacidade de retenção de água).

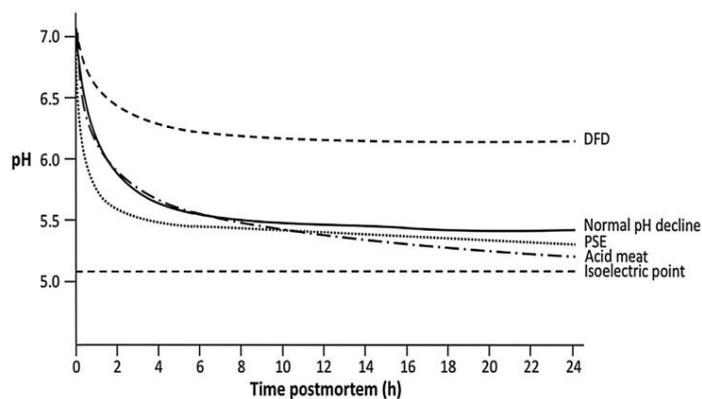


Figura 7: Diferentes curvas de pH no metabolismo pós-morte

Fonte: MATARNEH (2017).

O estabelecimento do pH final coincide com o término da glicólise, e isto tem sido atribuído à falta de substrato disponível (LAWRIE, 1998; FERGUSON & GERRARD, 2014). Em todos os cenários, o valor final do pH da carne pode ser usado como um indicador tanto dos processos anteriores e inerentes ao abate, como de qualidade.

2.7 Qualidade da Carne

De acordo com Wood et al. 1999, a qualidade da carne descreve a atratividade desse produto para o consumidor. Existem diversos fatores que podem determinar a qualidade da carne, entre eles a inexistência de perigos microbiológicos (segurança do alimento) e a prevenção à exploração excessiva do animal (bem-estar animal). Também devem ser incluídos o apelo sensorial da carne, ou seja, seu sabor, maciez, composição e como o consumidor percebe a qualidade nutricional daquele produto (WOOD 1998).

Ainda de acordo com Wood et al. 1999, em pesquisas com consumidores, os três principais componentes que definem a qualidade da carne são maciez, suculência e sabor. Outra característica que deve ser considerada é a cor da carne. Ela é o primeiro indicador de qualidade usado por consumidores para avaliar a qualidade e o frescor da carne na hora da compra, e por isso é considerada o atributo mais importante de aparência

(FAUSTMAN e CASSENS, 1990; ENGLAND et al., 2017). Esses dados somente reforçam os resultados obtidos por Ramanathan et al. (2020), no qual a cor foi classificada como o atributo mais importante na hora da compra.

A maciez é uma característica relacionada à qualidade sensorial da carne e tem se destacado por determinar sua qualidade no momento do consumo (MUCHENJE 2009) e ser um forte indicador da aceitabilidade do produto pelo consumidor (JOO et al., 2013). Ainda, de acordo com os mesmos autores, ela é afetada pela quantidade e solubilidade do tecido conjuntivo, pelo tipo de fibra que compõe aquele músculo e, embora exista uma baixa correlação entre maciez instrumental e teor de gordura intramuscular, um aumento da mesma pode favorecer a maciez sensorial por parte do consumidor ou do painel treinado.

Já a suculência da carne está relacionada à capacidade de retenção de água (CRA). Ela determina a aceitabilidade visual daquele produto *in natura* e tem grande influência na decisão de compra pelo consumidor, uma vez que está fortemente relacionada com a coloração da carne devido a perda de mioglobina e refletância na superfície (JOO et al., 1995). Dessa forma, pode contribuir para uma variação de até 10% na aceitabilidade de um produto pelo consumidor (WATSON et al., 2008). A capacidade de retenção de água é definida como a habilidade da carne e produtos cárneos de se ligar à água (PEARCE et al., 2011). Uma baixa capacidade de retenção de água da carne *in natura* resulta em altas perdas por gotejamento e cocção e pode afetar o rendimento e qualidade de carcaças, cortes e produtos cárneos, além de influenciar negativamente a textura desses produtos (WARNER 2023).

A principal proteína responsável pela cor da carne é a mioglobina (HENCKEL et al., 1997). Essa cor pode ser influenciada por diversos fatores como espécie, idade e tipo muscular (MATARNEH 2023). A concentração de mioglobina é maior em fibras oxidativas ricas em mitocôndrias, logo, músculos com uma maior proporção dessas fibras parecem mais escuros (MATARNEH 2023) e mais vermelhos (JEONG 2009). A mioglobina está sujeita a sofrer reações de oxidação. A taxa de oxidação da oximioglobina é determinante para a estabilidade da cor da carne e é um dos fatores que contribui para a descoloração da mesma (FAUSTMAN 2010). Uma descoloração mais rápida irá ocorrer em músculos que contenham maiores

proporções de fibras oxidativas do (tipo I), devido a uma maior taxa de consumo de oxigênio (JEONG et al., 2009). Carnes com pH final anormal também podem sofrer alterações de cor.

Em carnes PSE *in natura*, devido a uma maior quantidade de água livre no meio extracelular, que por sua vez contribui para uma estrutura mais aberta, existe um aumento da reflectância (MATARNEH 2023). A precipitação de proteínas sarcoplasmáticas também contribui para a cor pálida observada em carnes PSE (JOO et al. 1999). Em contraste, em carnes DFD *in natura* (Figura 11), existe uma grande quantidade de água retida no meio intracelular. Isso aumenta a absorção de luz pelos tecidos e resulta em uma cor escura (MATARNEH 2023).

Tipo de Carne	pH	L*
Normal	5,4 a 5,8	40 a 60
Escura	< 5,8	< 40
DFD	≤ 5,8	< 40

Tabela 3: Classificação da carne de acordo com os valores de pH e L*.

Fonte: Adaptado de Romans et al., 2001.

O sabor da carne também é considerado uma característica sensorial de grande importância para definir a qualidade e é definido como a impressão sensorial percebida por órgãos olfativos e gustativos. Diversas reações, como a de Maillard, oxidação de lipídeos e degradação de vitaminas contribuem para o desenvolvimento do sabor da carne durante o cozimento. Fatores pré-abate (como raça, sexo, idade e nutrição) e fatores pós-morte (como maturação e modo de preparo) também contribuem para esse desenvolvimento (KHAN 2015). Após a maciez, o sabor é um dos principais fatores que influencia a decisão de compra por parte do consumidor (SITZ 2005). O sabor é uma combinação de gosto e odor, mas a suculência também afeta a percepção do indivíduo sobre o sabor daquele produto (ROBBINS 2003). Gorduras e compostos solúveis em água de baixo peso molecular constituem os precursores de sabor mais importantes na carne cozida (RESCONI 2013 e JOO 2013).

2.8 Influência da Taxa de Crescimento na Qualidade da Carne

A taxa de crescimento pode variar de diversas maneiras. Ela também pode ser manipulada ao se alterar a quantidade ou qualidade do alimento disponível, seja essa alteração provinda de decisões nutricionais ou por sazonalidade. Nesse caso, as diferenças entre grupos de animais refletem a variação em uma combinação de fatores nutricionais e ambientais. Já a diferença de crescimento dentro de um grupo de animais tende a refletir o potencial genético de crescimento de cada animal e suas características individuais, independente das condições alimentares (PERRY & THOMPSON, 2005).

Resultados obtidos por Gómez et al. (2022) sugerem que a taxa de crescimento é o principal fator responsável por variações nos atributos cromáticos da carne bovina. A mesma impacta diretamente no metabolismo muscular, onde observa-se relação entre uma taxa de ganho lenta e um músculo mais oxidativo e mais escuro (PICARD & GAGAOUA 2020). Adicionalmente, de acordo com Renerre (1990) e Kim et al. (2010), um aumento na proporção de fibras do tipo I determina o aumento da concentração de mioglobina, uma maior intensidade de vermelho e a uma maior instabilidade da cor. A estabilidade da cor é inversamente relacionada ao metabolismo oxidativo em bovinos (RENERRE 1984). Por outro lado, um aumento na proporção de fibras glicolíticas pode ter efeitos positivos em carnes bovinas ao melhorar a estabilidade da cor, que é uma característica de alta importância para a aceitabilidade do produto pelo consumidor (LEFAUCHEUR & GERRARD, 2000).

Em geral, animais com rápida taxa de crescimento estão associados a uma baixa quantidade de gordura intramuscular (RENAND et al., 1994), baixo metabolismo oxidativo (CASSAR-MALEK et al., 2003) e uma maior proporção de fibras glicolíticas (DURIS et al., 1999).

O sabor da carne está relacionado, em grande parte, a quantidade de lipídeos presente. Fibras musculares oxidativas do tipo I apresentam uma maior quantidade de fosfolipídios do que fibras glicolíticas do tipo IIx. Ademais, fibras do tipo I contém reservas de lipídios intracelular na forma de gotas, e que são raramente observadas em fibras do tipo IIx (JOO et al., 2013).

A quantidade de gordura intramuscular é um fator importante que influencia qualidade de carne (CHOI & KIM, 2009), pois é positivamente relacionada com a maciez sensorial (RENAND et al., 2001). A porcentagem de fibras do tipo I é positivamente correlacionada com gordura intramuscular em bovinos (CALKINS et al., 1981) e maior quantidade de fibras do tipo I contribuem para maior suculência e sabor, enquanto uma maior proporção de fibras do tipo IIb tende a ser associada com carne dura (CHOI e KIM, 2009). Hwang et al. (2010) também encontraram correlação positiva entre gordura intramuscular e fibras musculares vermelhas e correlação negativa com fibras musculares brancas de bovinos.

Em estudo realizado por Purchas et al. (2002), que avaliou o efeito da taxa de crescimento sobre a maciez da carne em animais castrados e não-castrados, concluíram que a maciez da carne bovina é determinada majoritariamente pela idade de abate e não pela taxa de crescimento, independente da condição sexual. Esses resultados foram confirmados por dados obtidos por Gómez et al. (2022), onde a taxa de crescimento não afetou a maciez da carne de animais castrados terminados tanto a pasto quanto em confinamento. A idade ao abate se mostrou determinante à maciez, especialmente em animais com 30 meses de idade ou mais (BOUTON et al., 1978; SHORTHOSE & HARRIS, 1990). Porém, animais com rápida taxa de crescimento atingem peso de abate mais cedo, e são, portanto, mais jovens ao abate. Assim, taxa de crescimento e idade de abate podem ser, em parte, parâmetros diferentes para indicar o mesmo efeito biológico (PERRY & THOMPSON, 2005).

2.9 Influência da Condição Sexual na Qualidade da Carne

A condição sexual é um dos principais fatores que podem afetar o desempenho durante a terminação dos animais, as características de carcaça e qualidade da carne, uma vez que ela exerce uma influência direta sobre o crescimento e distribuição dos tecidos na carcaça (D'OCCHIO 2001).

Animais não-castrados têm sido muito utilizados na bovinocultura de corte de maneira a aumentar a eficiência produtiva do sistema, já que

apresentam uma maior deposição muscular (ARNOLD 1997), consequentemente ganham mais peso e, portanto, são mais eficientes quando comparados com animais castrados (WORREL 1987) devido à ação anabólica da testosterona (HAFEZ 2004). Porém, a maior agressividade observada nos machos não-castrados tem sido associada a problemas de qualidade da carne (PONNAMPALAM et al., 2017) em função da depleção das reservas de glicogênio muscular pré-abate (Immonen et al., 2000) e, consequentemente, maior incidência de pH final das carcaças elevado (>5,8). Um pH final elevado, cor alterada e aspecto seco da carne *in natura*, popularmente conhecida como DFD (do inglês *dark, firm and dry*), relaciona-se com menor vida útil do produto na prateleira, rejeição da compra pela cor escura e prejuízo do sabor (Immonen et al., 2000).

Ademais, machos não-castrados são tardios na deposição de gordura na carcaça quando comparados aos castrados, em uma mesma idade cronológica (Field, 1971; Seideman, 1982; Purchas et al., 2002). Ainda, considerando particularmente o sistema de produção brasileiro, onde grande parte dos animais abatidos são da raça Nelore, reconhecidamente produtores de carne magra, e a maioria dos animais são abatidos com uma pequena quantidade de gordura subcutânea (< 5mm de espessura), esse atraso na deposição de gordura pode levar a problemas de qualidade da carne como o encurtamento excessivo dos sarcômeros pelo frio (*cold shortening*), que pode afetar negativamente, e irreversivelmente a maciez da mesma. Animais não-castrados também apresentam maior atividade de calpastatina, que é o inibidor natural das calpaínas, que por sua vez são proteases cálcio dependentes e atuam no complexo relacionado com a maciez da carne (ANDREO 2013). As calpaínas são as proteases responsáveis pelo amaciamento na maturação da carne (KOOHMARAIE 1992). A maior força de cisalhamento da carne de animais não-castrados está relacionada com uma maior atividade da calpastatina 24 horas pós-abate (MORGAN 1993).

Por outro lado, de acordo com Marti et al. (2015) e Needham et al. (2017) animais castrados possuem um comportamento mais dócil em relação a animais não-castrados, o que facilita o manejo, aumenta a segurança dos animais e dos trabalhadores, além de contribuir para a redução de contusões nas carcaças no momento do abate.

De acordo com Moran et al. (2017), a castração altera o perfil de fibras musculares, sendo que animais castrados apresentam uma maior proporção de fibras do tipo I e IIa que animais não-castrados. Fibras oxidativas tipo I e IIa possuem um menor teor de glicogênio, que influencia e reduz a taxa de glicólise e, portanto, por uma taxa de queda de pH mais lenta no pós-morte devido a um acúmulo mais lento de ácido lático e íons hidrogênio (ASTRUC et al., 2017). De acordo com Wicks, (2019), a taxa glicolítica influencia as alterações pós-morte das proteínas miofibrilares como a miosina, actina e troponina, e algumas proteínas metabólicas, particularmente enzimas glicolíticas no sarcoplasma, e essas mudanças podem influenciar na qualidade final da carne (maciez, suculência, sabor ou desenvolvimento e/ou estabilidade da cor). Ainda, uma maior proporção de fibras glicolíticas acelera a taxa e a extensão da queda de pH durante o período pós-morte (KIM 2013), além de promover uma maior estabilidade da cor (JEONG 2009).

Animais castrados tem a carne ligeiramente mais macia que animais não-castrados, conforme diversos estudos realizados por Field (1970) e Seideman et al. (1982), apresentando menores valores de força de cisalhamento. Porém, de acordo com Purchas (2002), mesmo a carne de animais não-castrados sendo normalmente menos macia quando comparado com aquela de animais castrados, essas diferenças são inconsistentes e, muitas vezes, não significativas, principalmente quando se trata de animais jovens (< 24 meses) e com algum tempo de maturação (Field, 1971; Gómez et al., 2017).

Além dos efeitos da castração sobre a eficiência produtiva, a composição corporal e a qualidade da carne apresentados anteriormente, outro aspecto que tem ganhado grande relevância, principalmente quando o método de castração escolhido é o cirúrgico, refere-se ao impacto negativo dessa prática sobre o bem-estar dos animais e a queda no desempenho durante o período pós cirúrgico (BONNEAU 1995).

Nesse sentido, um método alternativo à prática da castração cirúrgica é a utilização de substâncias capazes de inibir, temporariamente, a liberação dos hormônios sexuais masculinos e femininos, por meio do estímulo à produção de anticorpos que neutralizam o fator GnRH (hormônio liberador das gonadotrofinas), também conhecida como “imunocastração”. Segundo Roça et al. (2011^b) esses produtos são uma alternativa imunológica à castração

cirúrgica, que facilita o manejo dos bovinos, promovendo bem-estar animal, com melhora da qualidade da carne, controlando o comportamento sexual e aumentando o potencial de produtividade. Além disso, a possibilidade de manter as características positivas dos efeitos anabólicos da testosterona - que potencializa a deposição de proteína em detrimento da deposição de gordura (MACHADO et al., 2018) - em touros jovens durante as fases de cria e recria, seguida da imunocastração durante a fase de terminação, acrescentaria uma estratégia adicional à produção de carne bovina de melhor qualidade.

De acordo com Machado et al. (2018) animais imunocastrados tiveram menor eficiência alimentar, menor peso final e de carcaça que os machos não-castrados e, quando comparados aos castrados cirurgicamente, não diferiram em relação ao ganho de peso, espessura de gordura subcutânea e características de qualidade de carne (pH, cor, força de cisalhamento e perdas por cocção). Além disso, os mesmos autores mencionaram que animais imunocastrados foram mais pesados no momento do abate e tiveram maior área de olho de lombo quando comparado com os animais castrados cirurgicamente. Já Gómez et al., (2017) que testaram os efeitos da imunocastração nas características de qualidade de carne de bovinos *Bos indicus* terminados em confinamento concluíram que além de animais imunocastrados terem características de carcaça e de qualidade de carne similares a animais não-castrados ou castrados cirurgicamente, a imunocastração reduz a frequência de cortes escuros e melhora a cor da carne em comparação a de animais não-castrados. Com base nesses resultados, pode-se inferir que a imunocastração pode ser uma prática viável para aumentar a eficiência de produção e ao mesmo tempo produzir uma carne com melhores características sensoriais.

3. HIPÓTESES

Animais de menor taxa de crescimento durante a fase de recria não conseguem compensar, durante a terminação, o menor desempenho, quando comparados aos animais com maior taxa de ganho, porém essa diferença não influenciará na qualidade da carne, quando os animais são abatidos jovens e com gordura subcutânea adequada

A condição sexual não influencia as características de qualidade da

carne, quando os animais são abatidos jovens e com acabamento adequado de gordura.

4. OBJETIVOS

Este projeto foi desenvolvido para avaliar o efeito da taxa de crescimento durante o período de recria e a condição sexual (castração cirúrgica, imunocastração ou não castração) na fase de terminação, sobre a qualidade da carne de bovinos da raça Nelore.

Também foi avaliado do tempo de maturação sobre a qualidade objetiva e sensorial da carne, em função dos tratamentos e verificar se os consumidores conseguem detectar essas diferenças, caso elas existam.

5. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas instalações do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP), localizada em Pirassununga-SP. Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (Protocolo CEUA #9413210121) e pela Comissão de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CAAE #64176822.4.0000.5422) da mesma instituição.

5.1 Animais e Alimentação

5.1.1 Recria à Pasto

Foram utilizados setenta e dois bovinos machos da raça Nelore, com peso médio inicial de 200 ± 30 kg e idade média de 9 meses, provenientes do rebanho experimental do Campus Fernando Costa, Pirassununga, SP. Os animais foram agrupados de acordo com o peso inicial (bloco) e divididos em dois grupos: 1) Alto ganho de peso (AG) – 36 animais foram mantidos no pasto e receberam suplemento proteico-energético para atingir um ganho de peso médio de aproximadamente 0,7 kg/dia durante toda a fase de recria (sendo que o GMD final para o período de recria foi de 0,68 kg/dia) ; 2) Baixo ganho de peso (BG) – 36 animais foram mantidos no

pasto, recebendo suplementação mineral, visando um ganho médio diário de 0,3 kg/dia durante toda a fase de recria (sendo que o GMD final para o período de recria foi de 0,24 kg/dia).

Todos os animais permaneceram no pasto por aproximadamente 7 meses, sendo que cada grupo de 36 animais foi dividido em dois subgrupos, resultando em 4 grupos com 18 animais. Cada grupo de 18 animais foi alocado em piquetes diferentes e subsequentes no mesmo espaço experimental, sendo que grupos do mesmo tratamento não ficavam lado a lado. A cada semana, os animais eram rotacionados nos piquetes no sentido da direita (Piquete 1) para a esquerda (Piquete 4) conforme o esquema (Figura 8).

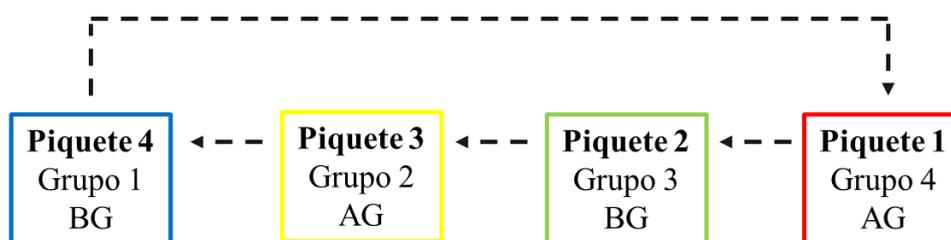


Figura 8: Esquema da divisão dos grupos de tratamento e da rotação de pasto.

Fonte: Autoria própria

Os 72 animais foram alojados em piquetes de capim-marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) com água a vontade, onde também recebiam a suplementação designada para cada tratamento em cochos plásticos. Durante o período de seca (entre agosto e setembro), os animais designados para o grupo BG receberam uma suplementação proteinada a 0,1% do seu peso vivo (PV), enquanto os animais do grupo AG receberam um suplemento proteico-energético a 0,5% PV visando a manutenção da taxa de crescimento desejada durante o período em que o pasto apresenta uma menor oferta e qualidade.

Durante o período de águas (de outubro a março), o grupo BG passou a receber uma suplementação mineral *ad libitum*, enquanto o grupo AG continuou recebendo o suplemento proteico-energético a 0,5% PV. Após cada manejo (que envolviam a pesagem e avaliação por ultrassonografia desses animais e ocorriam a cada 28 dias, em média), foi realizado o ajuste da oferta do suplemento com base

nos dados de peso e proporcional aos 18 animais dentro de cada piquete.

Aproximadamente 60 dias antes da entrada no confinamento, os 72 animais foram divididos entre as 3 condições sexuais de acordo com seu peso (Castração Cirúrgica [CC], Imunocastração [IC] e Não Castrado [NC]), de maneira que a média de peso entre os tratamentos fosse o mais próxima possível, formando assim os seguintes tratamentos: AG – CC (n = 12); AG – IC (n = 12); AG – NC (n = 12); BG – CC (n = 12); BG – IC (n = 12) e BG – NC (n = 12). Os 24 animais designados para o grupo CC foram castrados por um Médico Veterinário quando estavam com 15 ± 2 meses de idade. Especificamente, os animais foram contidos em tronco de manejo onde inicialmente a região dos testículos foi higienizada utilizando uma solução de clorexidina 2%. Em seguida, foram aplicados 10mL de lidocaína 2% na linha de incisão da pele (5mL para cada testículo) e outros 10mL do mesmo anestésico foram aplicados no cordão espermático (5mL para cada testículo). Após 5 a 10 minutos foi realizada uma incisão escrotal com o auxílio de um bisturi e os testículos foram removidos por tração. No local da incisão foi aplicado solução antiparasitária e antibiótica em spray (TOPLINE® Spray; Fipronil e sulfadiazina prata). Sistemicamente, foi aplicado maxicam de longa ação (0,5mg/kg) como droga analgésica e anti-inflamatória pós-operatória.

Os 24 animais do grupo IC receberam duas doses da vacina de imunocastração (Anti-GnRH; Bopriva®, Pfizer Saúde Animal, São Paulo, SP, Brasil). A primeira dose foi aplicada por pessoa capacitada para realizá-la, de forma adequada e segura, 60 dias antes do início do confinamento e a segunda no início do confinamento, conforme recomendação do fabricante. Os 24 animais restantes, pertencentes ao grupo NC permaneceram no pasto e não foram submetidos a nenhum tratamento placebo.

Tabela 4: Composição percentual da suplementação Proteinada, Proteico-Energética e Mineral.

INGREDIENTES (%MS)	Proteinado	Proteico-Energético	Mineral
Milho Grão Moído	32,50	64,90	-
Farelo de Soja (45%)	20,00	28,50	-
Uréia Pecuária (45%N)	10,00	2,50	-
Sal Comum	30,00	2,00	50,00
Núcleo Mineral	7,50	2,10	50,00
NUTRIENTES			
Proteína Bruta, em %	39,70	25,04	-
NDT, em %	39,31	70,24	-

¹Minerthal 160 MD (Minerthal): cálcio, 200 g; cobalto, 160 mg; cobre 2700; enxofre, 60 g; flúor (Max), 1600 mg; fósforo, 160 g; iodo, 135 g; manganês, 2700mg; selênio, 80 mg; zinco, 8100 mg; monensina sódica, 4000 mg.

²Estimado através de fórmula de Weiss et al. (1992).

Fonte: Autoria própria.

5.1.2 *Terminação em Confinamento*

Após 229 ± 15 dias de recria à pasto, os 72 animais foram transportados para o confinamento experimental do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP). Do total, 36 (12 de cada tratamento) animais foram distribuídos em 3 baias coletivas equipadas com portões eletrônicos (*Calan Gates, American Calan Inc., Northwood, NH, USA*) permitindo o controle individual da alimentação. Os 36 animais restantes foram alocados em baias individuais que também permitem o controle do consumo. Todos os animais passaram por uma adaptação à dieta por um período de 23 dias e durante esse mesmo período, os animais alojados em baias com portões eletrônicos também passaram por uma adaptação às instalações.

A adaptação à dieta foi realizada utilizando um protocolo de adaptação em escada (*Step Up*) com três dietas e duração média de 7 dias por dieta. Em seguida todos os animais foram alimentados uma dieta única (relação de 30:70 de volumoso e concentrado, respectivamente, Tabela 6). Durante o período de confinamento também foram realizados manejos de pesagem, ultrassom e coleta de sangue a cada 28 dias, em média. A duração do período de terminação, incluindo a fase de adaptação foi de 118 ± 11 dias.

Tabela 5: Composição percentual das dietas de Adaptação 1,2 e 3 e Dieta Final em Confinamento¹

INGREDIENTES (%MS)	Adap 1	Adap 2	Adap 3	Dieta Final
Silagem de Milho	55,00	45,00	37,00	29,60
Milho Grão Moído	33,15	44,64	55,27	64,32
Farelo de Soja (45%)	9,23	7,49	4,41	2,55
Calcário Calcítico	0,50	0,60	0,60	0,60
Cloreto de Potássio	-	-	0,30	0,40
Uréia Pecuária (45%N)	0,81	1,00	1,20	1,40
Sal Comum	0,68	0,64	0,59	0,50
Núcleo Mineral ²	0,63	0,63	0,63	0,63
NUTRIENTES				
Matéria Seca	52,00	59,00	62,00	70,00
Proteína Bruta, em %	14,50	14,50	14,00	13,96
NDT ³ , em % ⁶	73,50	75,50	77,00	78,50

¹A dieta dos animais em confinamento foi formulada no software RLM 3.2 para suprir ou exceder todos os nutrientes requeridos para machos não-castrados em terminação (National Research Council 2000).

²Minerthal 160 MD (Minerthal): cálcio, 200 g; cobalto, 160 mg; cobre 2700; enxofre, 60 g; flúor (Max), 1600 mg; fósforo, 160 g; iodo, 135 g; manganês, 2700mg; selênio, 80 mg; zinco, 8100 mg; monensina sódica, 4000 mg.

³Nutrientes Digestíveis Totais

⁴Estimado através de fórmula de Weiss et al. (1992).

Fonte: Autoria própria.

5.2 Abate e Coleta de Amostras

O critério para abate foi a deposição mínima de 5 milímetros de espessura de gordura subcutânea (EGSU) na região entre a 12^a e 13^a costelas (avaliação por ultrassonografia), independente do peso.

Quando os animais atingiram o critério de abate pré-definido, foram enviados para o Abatedouro Escola da Universidade de São Paulo (USP), localizado a cerca de 300 m do confinamento e abatidos de acordo com os procedimentos humanitários, conforme exigido pela legislação brasileira. Os processos pós-abate seguiram o padrão do Abatedouro-Escola, conforme recomendações do Serviço de Inspeção de Produtos de Origem Animal de São Paulo (SISP).

Em função da limitação física da instalação de abate, foram formados grupos de abate (n=5). O critério utilizado para selecionar os animais para o abate

foi a maior EGSU, independente do tratamento, conforme apresentado a seguir (Tabela 7).

Tabela 6: Número de animais por abate, de acordo com os tratamentos.

Tratamento	Abate 1 11/07/2022	Abate 2 13/07/2022	Abate 3 25/07/2022	Abate 4 27/07/2022	Abate 5 08/08/2022
AG - CC	5	3	2	2	0
AG - IC	5	3	2	2	0
AG - NC	5	2	2	3	0
BG - CC	1	2	5	3	1
BG - IC	0	4	1	4	3
BG - NC	0	2	4	2	3
Total	16	16	16	16	7

¹AG= alto de ganho; BG= baixo ganho

²CC = castrados cirurgicamente; IC = imunocastrados; NC = não-castrados.

Fonte: Autoria própria.

Nos tempos 0h, 6h, 12h e 24h após o abate, foram medidos o pH e a temperatura das carcaças no músculo *Longissimus thoracis* (no espaço entre a 12^a e 13^a costela) e realizada a coleta de uma amostra (~5g) para análise de metabólitos. No momento da desossa (24h após o abate), uma imagem do músculo *Longissimus thoracis*, entre as 12^a e 13^a costelas, foi obtida por meio de câmera digital acoplada a um suporte utilizado para manter uma distância fixa (10 cm) da imagem para determinar a área de olho de lombo (AOL) e a espessura da gordura subcutânea (EGSU). As imagens foram capturadas e interpretadas por um técnico experiente utilizando o software Lince® (M&S Consultoria Agropecuária, Pirassununga, São Paulo, Brasil).

Além disso, quatro amostras de 2,5cm de espessura foram coletadas do músculo LT, individualmente identificadas, embaladas a vácuo e maturadas (0-2°C) por 0, 7, 14 e 21 dias para avaliações de qualidade de carne (cor, força de cisalhamento, perdas por cocção, comprimento de sarcômero e análise sensorial).

5.2.1 Cor, Força de Cisalhamento e Perdas por Cocção

Ao final de cada período de maturação, foram realizadas avaliações de cor objetiva da carne (L^* , a^* , b^*) de acordo com a metodologia descrita pela AMSA (2012): após 30 min de oxigenação dos bifes (*blooming*) em expositor refrigerado e iluminado, utilizando um espectrofotômetro modelo CM2500d (Konica Minolta Brasil, São Paulo, Brasil), com iluminante padrão A, ângulo de observação de 10° e abertura do obturador de 30 mm. Foram realizados três disparos em três posições anatômicas distintas na superfície de cada bife e os valores finais de L^* (Luminosidade), a^* (intensidade de vermelho) e b^* (intensidade de amarelo) de cada bife corresponde à média aritmética dessas três medidas.

O mesmo bife foi utilizado para avaliação da perda por cocção (PPC) e força de cisalhamento (WBSF), de acordo com a metodologia descrita pela AMSA (2015): após a mensuração da cor, as amostras foram limpas, pesadas (peso anotado) e assadas em um forno elétrico industrial (Modelo F130/L — Fornos Elétricos Flecha de Ouro Ind. e Com. Ltda., São Paulo, Brasil) equipado com um termostato, ajustado a 170°C . A temperatura interna dos bifes foi monitorada por meio de termômetros individuais (Gulton Instrumentos de Medição e Automação Indústria e Comércio LTDA — Modelo Gulterm 700-10s, São Paulo, Brasil). Ao atingirem temperatura interna de 40°C , as amostras foram viradas e permaneceram no forno até atingirem a temperatura interna de 71°C .

Retiradas do forno, as amostras permaneceram em temperatura ambiente até atingirem $\pm 25^\circ\text{C}$, quando foram novamente pesadas (peso anotado) para determinação das perdas por cocção ($\text{PPC} \% = 100 - [(100 \times \text{peso amostra assada}) / \text{peso da amostra crua}]$). Posteriormente, as amostras foram envolvidas em filme plástico e refrigeradas (4 a 6°C) por 12 horas. Após esse período, foram retirados seis cilindros (1,27 cm de diâmetro) de cada amostra, no sentido paralelo ao das fibras, para determinação da força de cisalhamento através do equipamento TMS-PRO analisador de textura (Food Technology Corporation, Sterling, Virginia, USA) acoplado à lâmina de cisalhamento do tipo Warner–Bratzler com velocidade fixada de corte em 200 mm/min (AMSA, 2015). A força de cisalhamento de cada amostra foi considerada como a média das seis repetições e está expressa em Newtons (N).

5.2.2 Comprimento de Sarcômero

O comprimento do sarcômero foi avaliado em amostras cruas e sem maturação. As amostras foram retiradas da embalagem e foram retiradas cinco subamostras de posições anatômicas diferentes de cada amostra. As subamostras foram colocadas em um recipiente plástico contendo uma solução de glutaraldeído 5%, e fixadas por 4 horas a 4°C. Após esse período, a solução de glutaraldeído foi drenada e substituída por uma solução de sacarose 0,2 M para determinar o comprimento do sarcômero pelo método de difração a laser usando o equipamento Laser de Neônio Hélio Modelo 05-LHR-021 (Melles Griot, Carlsbad, CA, EUA), segundo metodologia proposta por Cross, West, & Dutson (1981) e Koolmess et al. (1986). As amostras foram homogeneizadas em Ultra-Turrax (MA102/B model, Marconi Laboratory Equipment, Piracicaba, Brazil). Para cada amostra, foi feito um esfregaço em três lâminas de microscópio e seis medidas de comprimento de sarcômero foram obtidas de cada lâmina, totalizando 18 leituras. O comprimento do sarcômero de cada amostra foi determinado pela média dessas 18 medidas e está expresso em μm .

5.2.3 Análise Sensorial

O teste sensorial de aceitação do consumidor foi realizado com as amostras maturadas por 7, 14 e 21 dias (uma sessão de avaliação para cada um dos dias de maturação), em condições controladas em cabines individuais usando iluminação vermelha. No dia da análise, as amostras foram cozidas de forma similar às análises de WBSF. Os bifes foram cortados em cubos ($1,27 \times 1,27 \times 2,54$ cm) evitando gorduras e tecido conectivo visível. Uma vez cortados, foram mantidos aquecidos em estufa até serem servidos ao consumidor.

As amostras foram colocadas em um copo de plástico com um número aleatório de três dígitos e servidas aleatoriamente aos participantes com um copo de água e bolachas sem sal para limpar o paladar entre as avaliações. As análises sensoriais foram realizadas em cabines individuais sob condições controladas de luz vermelha e temperatura (22 ± 2 °C). Foi aplicado o teste sensorial de aceitação do consumidor, utilizando-se escala hedônica estruturada de nove pontos

(Meilgaard et al., 1987), variando de “desgostei muitíssimo” (nota 1) a “gostei muitíssimo” (nota 9).

5.2.4 Composição Centesimal

As amostras utilizadas foram obtidas do músculo *Longissimus thoracis*, na região entre a 12ª e 13 costela. As amostras foram embaladas a vácuo e mantidas congeladas a -20 °C até serem processadas. A análise de composição química foi realizada em bifes não maturados, que foram previamente descongelados durante a noite a 4 °C. As amostras foram preparadas removendo toda a gordura subcutânea e foram moídas em processador de alimentos manual e posteriormente armazenadas em sacos plásticos em freezer -40 °C até sua leitura.

A composição química foi determinada em 100 gramas de cada amostra, usando NIRS (Espectroscopia de Infravermelho Próximo) através de um FoodScan™ 2 (método AOAC: 2007-04; FOSS, Hillerod, Dinamarca).

5.2.5 Glicogênio Muscular

A concentração de glicogênio muscular foi obtida de acordo com protocolo descrito por Scheffler et al. (2013). As amostras utilizadas foram obtidas do músculo *Longissimus thoracis*, na região entre a 12ª e 13 costela às 0 e 24 horas após o abate. As amostras foram mantidas em nitrogênio líquido até serem processadas. No processamento foram maceradas 500 mg/amostra utilizando nitrogênio líquido. O macerado foi então transferido para tubos falcon de 50ml, onde foram adicionados 3,75 ml de água miliQ e 3,75ml de HCl 4M e posteriormente homogeneizadas em Ultra-Turrax (MA102/B model, Marconi Laboratory Equipment, Piracicaba, Brazil). O homogenato foi então transferido para tubos de vidro. Esses tubos foram colocados em banho maria à 100 °C, onde foram mantidos por 2 horas para que fosse realizada a digestão. Durante o período de digestão, a cada 30 minutos, os tubos eram retirados do banho maria e passados no vórtex para serem homogeneizados novamente até que o ciclo de duas horas fosse completo. Após esse período, os tubos foram deixados em temperatura ambiente e posteriormente centrifugados em centrífuga refrigerada a 4 °C e 15.000

× g (rcf) por 10 minutos. Em seguida foram pipetados 500 µL do sobrenadante em tubo eppendorf e adicionados 500 µL de NaOH 2M para neutralização da amostra. As amostras neutralizadas foram mantidas em freezer -40 °C até leitura.

Para a leitura foi feita uma curva padrão de glicose 1mg/ml com 7 pontos, um tampão contendo TEA, EDTA 0,5 M, MgCl₂ 1M, NADP e ATP. Além disso também foi preparado um coquetel enzimático contendo Hexoquinase, G6PDH e tampão TEA. A leitura foi realizada em espectrofotômetro de placa (MR9610, Accuris Instruments, New Jersey, USA) com absorbância ajustada para 340 nm.

5.2.6 Análise Estatística

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (peso inicial), em arranjo fatorial 2 x 3 (2 taxas de crescimento e 3 condições sexuais), com 12 repetições por tratamento. Inicialmente foi realizada uma análise exploratória para verificar a presença de dados discrepantes e as pressuposições do modelo linear misto (homogeneidade das variâncias e normalidade dos resíduos). O efeito dos tratamentos sobre as características estudadas foi avaliado por análise de variância utilizando o procedimento Mixed do *software* SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, EUA). O sistema de recria (AG e BG), a condição sexual (CC, IC e NC) e a interação entre ambos foram considerados efeitos fixos e o bloco e o grupo de abate foram utilizados como efeitos aleatórios.

As curvas de queda de pH e temperatura de carcaça, as características de metabolismo pós-morte e as características de qualidade da carne maturada foram analisadas como medidas repetidas no tempo (Crowder & Hand, 1990). Logo, para avaliação dessas características, o modelo estatístico contém, além dos fatores anteriormente descritos (sistema de recria e condição sexual), o tempo da avaliação, bem como as interações simples (i.e. sistema de recria × condição sexual, sistema de recria × tempo, condição sexual × tempo) e tripla (sistema de recria × condição sexual × tempo da avaliação). O animal foi considerado como a unidade experimental e o sujeito (subject) da medida repetida. Quando houve efeito significativo dos fatores principais, as médias dos tratamentos foram comparados pelo teste t de *Student*, por meio da opção *PDIFF*, do procedimento *Mixed*. As diferenças foram declaradas significativas quando $P \leq 0,05$, enquanto as tendências foram declaradas quando $0,05 < P < 0,10$.

6. RESULTADOS

6.1 Características de Carcaça

Não foi observada interação significativa entre a taxa de ganho e a condição sexual para nenhuma das características estudadas.

Para o peso de carcaça quente (PCQ), houve efeito da condição sexual, sendo que animais não castrados foram mais pesados, independente da taxa de ganho durante a recia (Tabela 7).

Houve influência da taxa de ganho na área de olho de lombo (AOL), sendo que os animais com alta taxa de ganho apresentaram maior área de olho de lombo, independente da condição sexual.

Já para a espessura de gordura subcutânea (EGS) não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 7).

Tabela 7: Médias e probabilidade ($Pr>F$) do efeito da taxa de crescimento, da condição sexual e da interação dos mesmos sobre o peso de carcaça quente (PCQ), área de olho de lombo (AOL) e espessura de gordura subcutânea (EGS).

Característica	AG	BG	CC	IC	NC	<i>Pr>F</i>		
						Taxa de Ganho	Condição Sexual	TG × CS
PCQ (kg)	293,3 ± 4,3	248,7 ± 4,4	263,3 ^b ± 5,3	268,8 ^{ab} ± 5,3	280,8 ^a ± 5,4	0,0701	<0,001	0,9157
AOL (cm ²)	67,6 ^a ± 1,1	63,0 ^b ± 1,2	64,5 ± 1,4	65,2 ± 1,4	66,1 ± 1,5	0,0070	0,7207	0,2517
EGS (mm)	4,9 ± 0,3	4,8 ± 0,3	5,0 ± 0,4	4,6 ± 0,4	4,8 ± 0,4	0,7883	0,5739	0,4619

¹AG= alto de ganho; BG= baixo ganho

²CC = castrados cirurgicamente; IC = imunocastrados; NC = não-castrados.

^{a,b}Médias seguidas de letras diferentes, diferem estatisticamente pelo teste t ($P < 0,05$).

Fonte: Autoria própria.

6.2 pH e Temperatura

Não foi observada interação entre os fatores e tempo para os valores de pH. Também não houve efeito da taxa de ganho (Figura 9) nem da condição sexual (Figura 10) nos valores de pH entre os tratamentos e ao longo do tempo

de avaliação.

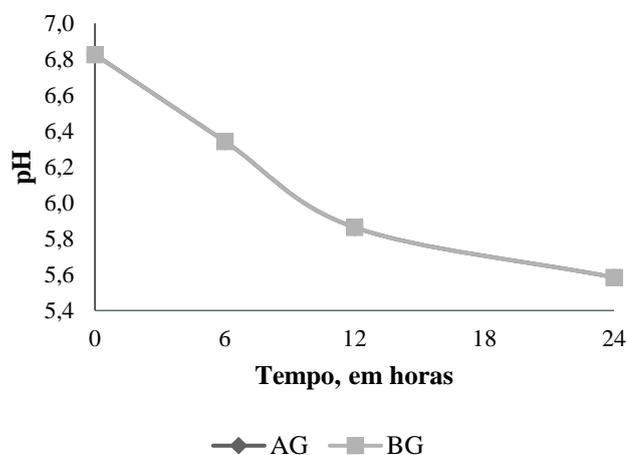


Figura 9: Valores médios do pH de carcaça em função do tempo de avaliação das diferentes taxas de ganho de peso.

¹AG= alto de ganho; BG= baixo ganho

Fonte: Autoria própria.

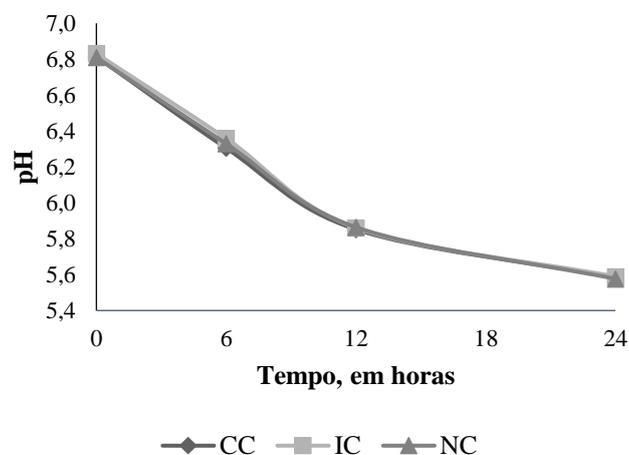


Figura 10: Valores médios do pH de carcaça em função do tempo de avaliação e da condição sexual.

¹CC = castrados cirurgicamente; IC = imunocastrados;

NC = não-castrados.

Fonte: Autoria própria.

Com relação a temperatura das carcaças, foi observada uma interação entre a taxa de ganho e o tempo ($P < 0,001$; Figura 11). No tempo inicial, não houve diferença entre as taxas de ganho, porém após 6, 12 e 24h, os animais do grupo AG apresentaram maior temperatura independente do tempo de avaliação em comparação ao BG. Por outro lado, a condição sexual não influenciou a temperatura das carcaças (Figura 12).

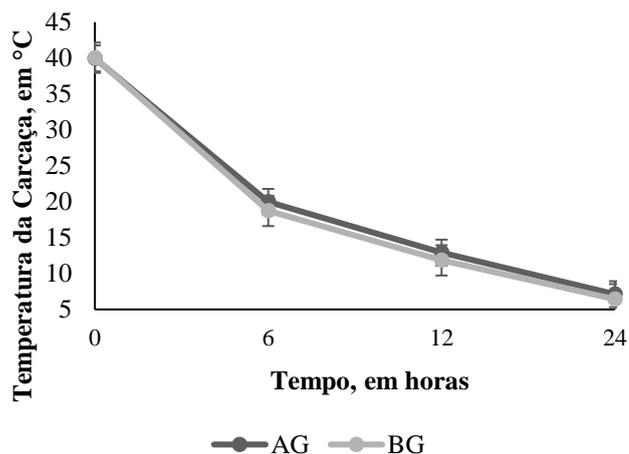


Figura 11: Valores médios da curva de queda de temperatura em função do tempo de avaliação para as diferentes taxas de ganho.

¹AG= alto de ganho; BG= baixo ganho

Fonte: Autoria própria.

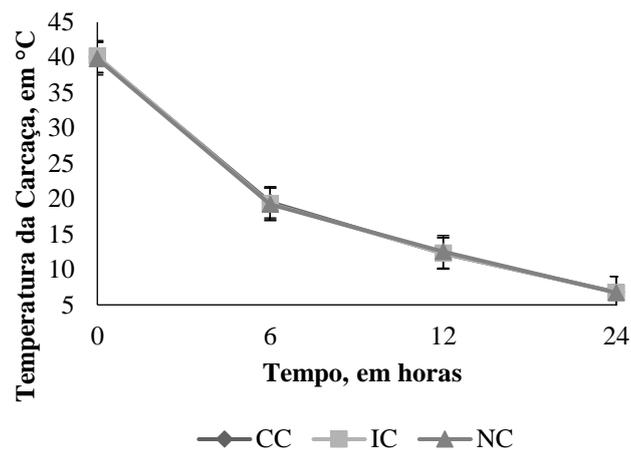


Figura 12: Valores médios da curva de queda de temperatura em função do tempo de avaliação para as diferentes condições sexuais.

¹CC = castrados cirurgicamente; IC = imunocastrados;

NC = não-castrados.

Fonte: Autoria própria.

6.3 Glicogênio Muscular

Não foi observada interação entre os fatores para a concentração de glicogênio muscular. Também não houve influência da taxa de ganho (Figura 13) nem da condição sexual (Figura 14) nas concentrações de glicogênio muscular em nenhum dos tempos avaliados.

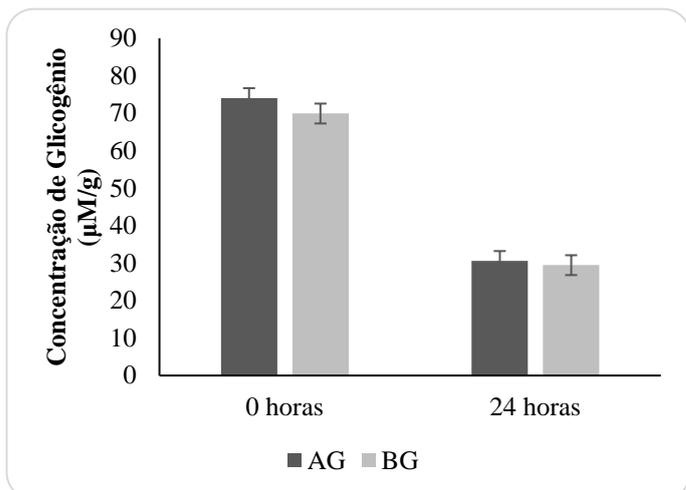


Figura 13: Valores médios da concentração de glicogênio muscular em função do tempo de avaliação das diferentes taxas de ganho de peso.

¹AG= alto de ganho; BG= baixo ganho

Fonte: Autoria própria.

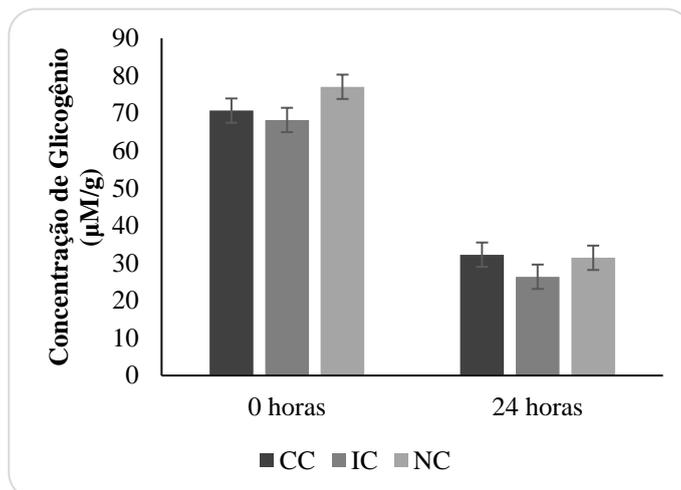


Figura 14: Valores médios da concentração de glicogênio muscular em função do tempo de avaliação das diferentes condições sexuais.

¹CC = castrados cirurgicamente; IC = imunocastrados;

NC = não-castrados.

Fonte: Autoria própria.

6.4 Cor

Foi observada interação entre a condição sexual e a taxa de ganho para os valores de L^* ($P= 0,007$) e a^* ($P= 0,042$). Os animais do grupo AG apresentaram menores valores de L^* em ambos os grupos CC e NC ($P<0,05$) em relação ao BG, porém não houve efeito da taxa de crescimento no grupo IC. Dentro do grupo de AG, os valores de L^* foram maiores nos animais IC em comparação a CC e NC ($P<0,05$), sendo que os dois últimos não diferiram entre si. Em contrapartida, nos animais de BG, os valores de L^* foram iguais entre as condições sexuais (Figura 15).

O valor de a^* foi maior no grupo CC para os animais AG em comparação ao BG, porém sem diferenças no grupo IC e NC (Figura 16). Dentro do grupo de AG, o valor de a^* foi maior nos animais CC em comparação aos animais do grupo NC ($P<0,05$), enquanto o grupo IC apresentou valores intermediários⁸. No grupo de BG não houve diferença entre as condições sexuais.

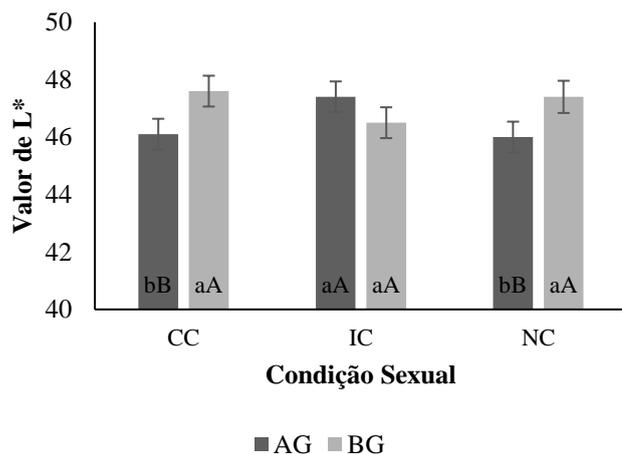


Figura 15: Média dos valores de L* em função da taxa de crescimento e da condição sexual.

¹AG= alto de ganho; BG= baixo ganho

Fonte: Autoria própria.

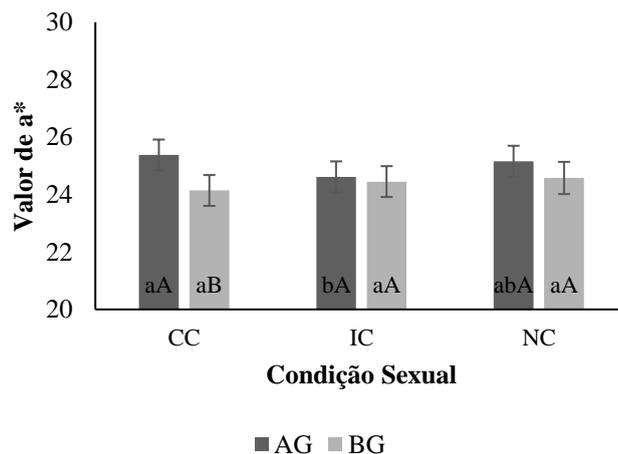


Figura 16: Média dos valores de a* em função da taxa de crescimento e da condição sexual.

¹CC = castrados cirurgicamente; IC = imunocastrados;

NC = não-castrados.

Fonte: Autoria própria.

Letras diferentes indicam diferenças entre as condições sexuais, dentro de taxa de crescimento ($P < 0,05$).

^{A,B} Letras diferentes indicam diferenças entre as taxas de crescimento, dentro de condição sexual ($P < 0,05$).

Para os valores de b* não foi observada interação significativa entre os fatores. Também não foi observado efeito da taxa de ganho (Figura 17) ou da condição sexual (Figura 18) no valor de b* entre os tratamentos.

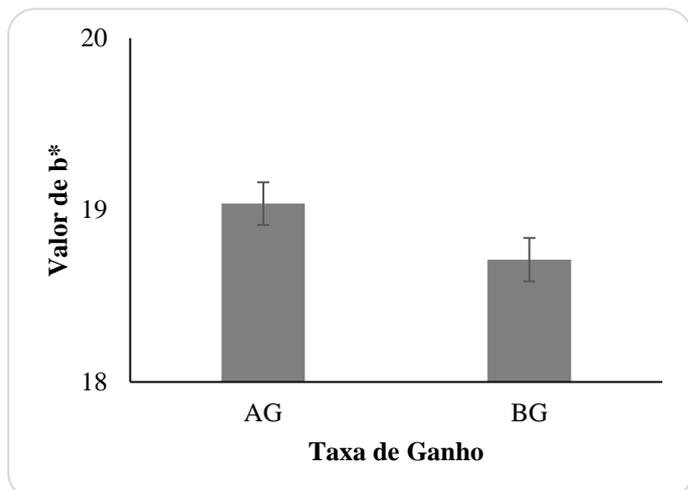


Figura 17: Média dos valores de b* em função da taxa de crescimento.

¹AG= alto de ganho; BG= baixo ganho

Fonte: Autoria própria.

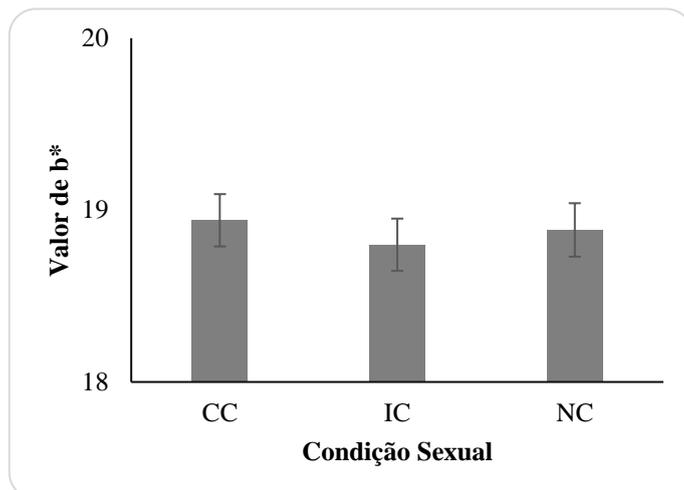


Figura 18: Média dos valores de b* em função da condição sexual.

¹CC = castrados cirurgicamente; IC = imunocastrados;

NC = não-castrados.

Fonte: Autoria própria.

6.5 Perdas por Cocção

Houve interação entre a condição sexual e a taxa de ganho ($P= 0,014$) para as perdas por cocção (Figura 19). A PPC foi maior nos animais AG apenas no grupo CC ($P<0,05$), porém não foram diferentes nos grupos IC e NC (Figura 20). Entre os animais AG, os animais CC apresentaram a maior porcentagem de PPC em relação aos NC, enquanto os animais IC apresentaram valor intermediário. Entre os animais de baixa taxa de ganho, não houve diferença nas PPC entre as condições sexuais.

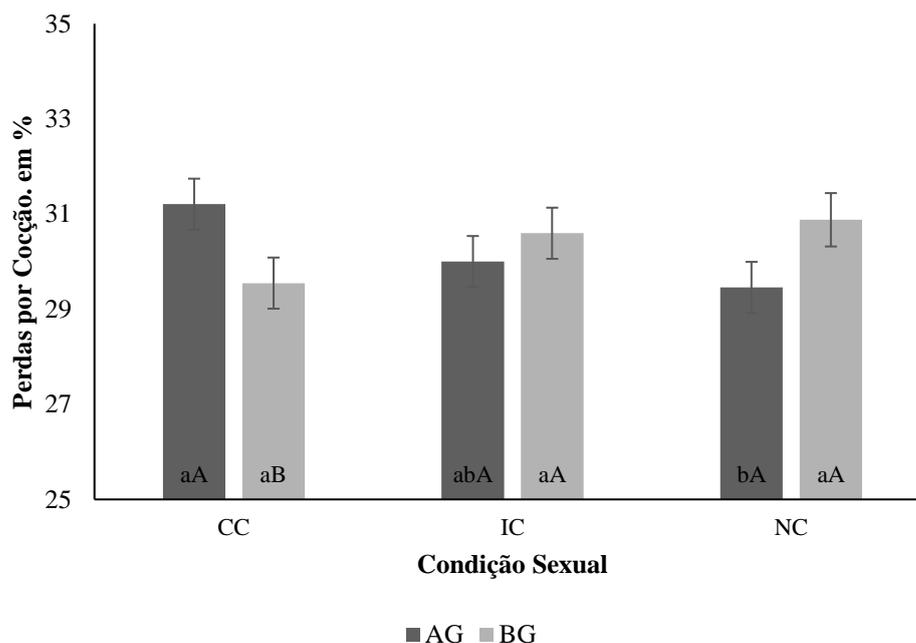


Figura 19: Valores médios das Perdas por Cocção em função da taxa de crescimento e condição sexual.

¹AG= alto de ganho; BG= baixo ganho

²CC = castrados cirurgicamente; IC = imunocastrados; NC = não-castrados.

^{a,b} Letras diferentes indicam diferenças entre as condições sexuais, dentro de taxa de crescimento

^{A,B} Letras diferentes indicam diferenças entre as taxas de crescimento, dentro de condição sexual

Fonte: Autoria própria.

6.6 Maciez

Não foi observada interação entre os fatores para a força de cisalhamento.

Também não foi observado efeito da taxa de ganho (Figura 20) ou da condição sexual (Figura 21) isoladamente na força de cisalhamento entre os tratamentos, independente do tempo de maturação.

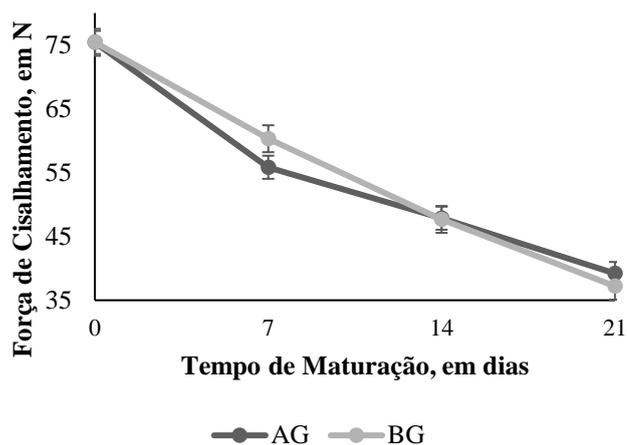


Figura 20: Valores médios de Força de Cisalhamento por taxa de ganho em função do tempo de maturação.

¹AG= alto de ganho; BG= baixo ganho

Fonte: Autoria própria.

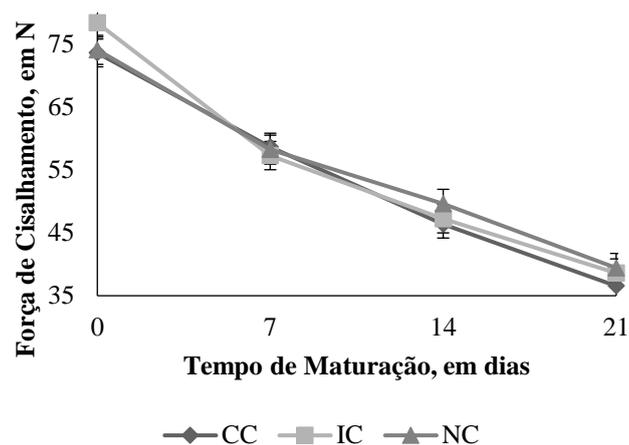


Figura 21: Valores médios de Força de Cisalhamento por condição sexual em função do tempo de maturação

¹CC = castrados cirurgicamente; IC = imunocastrados; NC = não-castrados.

Fonte: Autoria própria.

6.7 Comprimento de Sarcômero

Para o comprimento de sarcômero não foi observada interação significativa entre a taxa de ganho e a condição sexual.

Também não foi observado efeito da taxa de ganho ou da condição sexual (Figura 22) no comprimento de sarcômero entre os tratamentos.

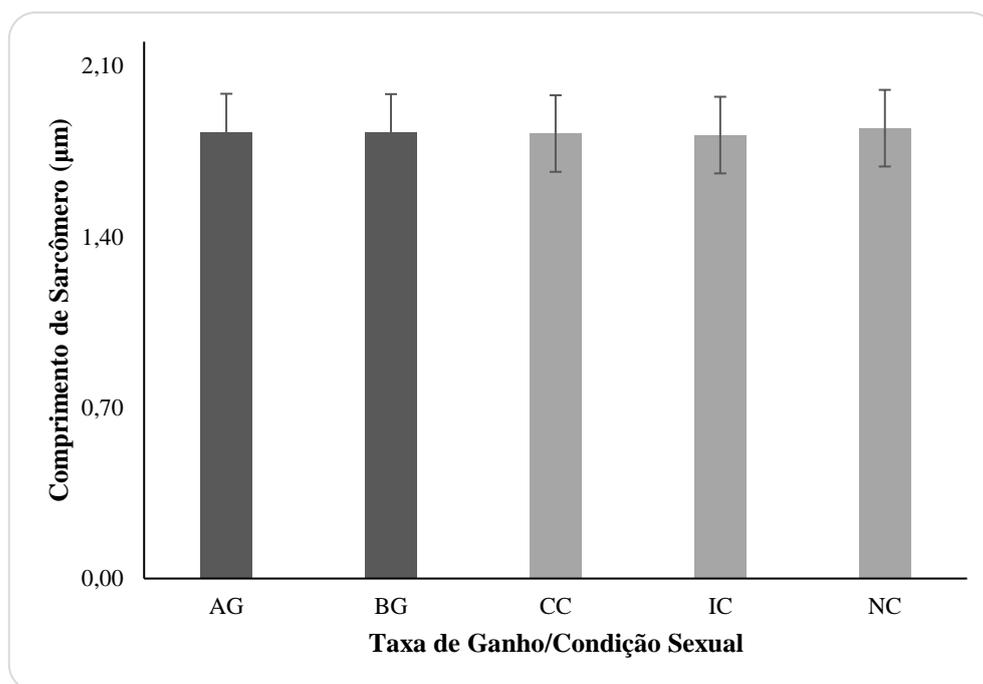


Figura 22: Valores médios do comprimento de sarcômero em função da taxa de ganho e da condição sexual.

¹AG= alto ganho; BG= baixo ganho.

²CC = castrados cirurgicamente; IC = imunocastrados; NC = não-castrados.

Fonte: Autoria própria.

6.8 Análise Sensorial

Nas amostras maturadas por 7 dias foi observada interação entre taxa de crescimento e condição sexual para a maciez ($P=0,016$) e aceitação geral ($P=0,017$), além de tendências para sabor ($P=0,067$) e suculência ($P=0,072$). Entre os animais do grupo AG a carne dos animais CC foi avaliada como menos macia que IC e NC ($P<0,05$). A aceitação global foi menor nos CC em relação ao IC ($P<0,05$), mas ambos não diferiram do grupo NC, enquanto o sabor e a suculência não diferiram entre os as condições sexuais. Nos animais do grupo BG, a aceitação global foi menor no grupo CC em relação ao NC ($P<0,05$), porém ambos não diferiram dos IC. Maciez, sabor e suculência não foram influenciados pela condição sexual dentro do grupo de baixo ganho.

A taxa de ganho não influenciou as características sensoriais nos animais CC. Porém nos animais IC, um alto ganho resultou em maior maciez, sabor e aceitação geral ($P<0,05$), comparados aos de baixa taxa de ganho. Entre os animais NC, uma

maior alta taxa de ganho resultou em maiores (melhores) valores em todas as características avaliadas, comparados aos com baixa taxa de ganho.

Não houve interação entre os fatores para nenhuma das características avaliadas aos 21 de maturação. Não foi observado efeito da condição sexual para nenhuma das características avaliadas nas amostras maturadas por 21 dias. Por outro lado, animais com alta TG apresentaram maiores (melhores) valores de maciez ($P=0,044$), suculência (0,017) e aceitação geral ($P=0,045$), sem diferir com relação ao sabor.

Tabela 8: Médias, erro-padrão da média (SEM) e probabilidade ($Pr>F$) do efeito da taxa de ganho, da condição sexual e da interação entre TG \times CS sobre a análise sensorial de amostras maturadas por 7, 14 ou 21 dias.

Característica	AG			BG			SEM	Pr>F		
	CC	IC	NC	CC	IC	NC		TG	CS	TG X CS
7 Dias (n= 83 provadores)										
Maciez	6,0 ^{bA}	6,5 ^{aA}	6,5 ^{aA}	6,3 ^{aA}	5,9 ^{aB}	5,7 ^{aB}	0,29	0,032	0,796	0,016
Sabor	6,7 ^{aA}	7,0 ^{aA}	6,8 ^{aA}	6,7 ^{aA}	6,5 ^{aB}	6,2 ^{aB}	0,12	0,002	0,277	0,067
Suculência	6,2 ^{aA}	6,3 ^{aA}	6,2 ^{aA}	6,0 ^{aA}	6,0 ^{aA}	5,3 ^{aB}	0,13	0,001	0,049	0,072
Aceitação Geral	6,3 ^{bA}	6,8 ^{aA}	6,5 ^{abA}	6,5 ^{aA}	6,3 ^{abB}	5,9 ^{bB}	0,23	0,030	0,132	0,017
14 Dias (n= 74 provadores)										
Maciez	5,9 ^{aA}	6,4 ^{aA}	5,9 ^{aA}	6,1 ^{aA}	5,6 ^{aB}	5,9 ^{aA}	0,31	0,206	0,900	0,059
Sabor	6,2	6,6	6,5	6,2	6,0	6,0	0,14	0,017	0,928	0,304
Suculência	5,7	5,9	5,9	5,9	5,3	5,7	0,29	0,179	0,597	0,183
Aceitação Geral	6,1 ^{bA}	6,6 ^{aA}	6,4 ^{abA}	6,2 ^{aA}	5,8 ^{aB}	6,1 ^{aA}	0,27	0,043	0,874	0,029
21 Dias (n= 45 provadores)										
Maciez	7,4	7,5	7,2	7,0	6,7	7,0	0,23	0,044	0,845	0,520
Sabor	7,6	7,4	7,2	7,4	7,1	7,1	0,30	0,238	0,159	0,933
Suculência	7,3	6,9	6,7	6,5	6,3	6,6	0,22	0,017	0,531	0,449
Aceitação Geral	7,6	7,3	7,2	7,1	6,7	7,1	0,20	0,045	0,365	0,405

¹AG= alto de ganho; BG= baixo ganho

²CC = castrados cirurgicamente; IC = imunocastrados; NC = não-castrados.

³TG= taxa de ganho; CS= condição sexual

^{a,b} Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, dentro de taxa de ganho, diferem pelo teste t ($P < 0,05$).

^{A,B} Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes, dentro de condição sexual, diferem pelo teste t ($P < 0,05$).

Fonte: Autoria própria.

6.9 Composição Centesimal

Não foi observada interação entre a taxa de crescimento na recria e a condição

sexual dos animais. A taxa de ganho de peso não influenciou a composição centesimal da carne (Tabela 9). No entanto, a condição sexual influenciou o percentual de gordura ($P = 0.014$) e umidade ($P = 0.045$). Os animais CC apresentaram maior percentual de gordura do que os animais IC e NC ($P < 0,05$), sem diferença entre os dois últimos. Em relação ao teor de umidade, os animais NC apresentaram maiores valores em aos CC, enquanto os animais do grupo IC não diferiu dos demais. Corroborando tal resultado, o valor energético (Kcal/100 g) dos bifes dos animais CC foi superior ($P = 0.011$) quando comparado aos animais das outras categoriais sexuais. No entanto, as percentagens de ácidos graxos saturados e colágeno não diferiram entre as categorias sexuais.

Tabela 9: Médias, erro-padrão da média (SEM) e probabilidades ($Pr > F$) da composição centesimal em função das taxas de ganho (TG) e da condição sexual (CS).

Característica	Taxa de Ganho		SEM	Condição Sexual			SEM	Pr>F		
	Alta	Baixa		CC	IC	NC		TG	CS	TG × CS
Proteína, %	22.80	22.70	0.17	22.80	22.80	22.70	0.16	0.733	0.708	0.979
Gordura, %	1.59	1.43	0.14	1.71 ^a	1.45 ^b	1.36 ^b	0.13	0.146	0.014	0.951
Umidade, %	74.30	74.40	0.16	74.10 ^b	74.40 ^{ab}	74.60 ^a	0.16	0.432	0.045	0.875
Carboidratos, %	0.73	0.85	0.06	0.81	0.76	0.80	0.07	0.151	0.868	0.434
Cinzas, %	0.68	0.67	0.01	0.68	0.67	0.68	0.01	0.352	0.634	0.861
Total	100	100	-	100	100	100	-	-	-	-
AGS ² , %	2.30	2.23	0.07	2.34	2.25	2.21	0.07	0.229	0.116	0.609
Colágeno, %	1.50	1.44	0.03	1.46	1.48	1.46	0.03	0.097	0.882	0.451
Energia, Kcal/100g	108.8	108.0	0.64	110.3 ^a	108.0 ^b	106.9 ^b	0.79	0.383	0.011	0.986

¹CC = castrados cirurgicamente; IC = imunocastrados; NC = não-castrados.

²AGS = ácidos graxos saturados

^{a,b}Médias seguidas de letras diferentes, diferem estatisticamente pelo teste t ($P < 0,05$).

Fonte: Autoria própria.

7. DISCUSSÃO

7.1 Características de Carcaça

A condição sexual teve um impacto pronunciado no peso de carcaça quente (PCQ), sendo que animais não castrados apresentaram maior PCQ independente da taxa de crescimento. Resultados similares foram encontrados por Arnold et al. (1997)

que concluíram que animais não castrados apresentam maior deposição muscular, além de ganharem mais peso e serem mais eficientes quando comparados a animais castrados (Worrel et al., 1987). Em função disso, animais não castrados têm sido frequentemente utilizados como uma maneira de aumentar a eficiência do sistema produtivo.

Por outro lado, a taxa de ganho foi o fator que teve maior influência sobre a área de olho de lombo (AOL), sendo que animais que tiveram uma alta taxa de crescimento na recria apresentaram uma maior AOL independente da condição sexual. Existe uma correlação positiva entre crescimento muscular e a proporção de fibras glicolíticas (JURIE et al., 1995). Logo, essa diferença pode ser decorrente do fato de que animais com uma maior taxa de crescimento estarem frequentemente associados com uma maior proporção de fibras glicolíticas (DURIS et al., 1999), que possuem uma maior área transversal quando comparadas á fibras com metabolismo mais oxidativo (PICARD & GAGAOUA 2020).

Já para a espessura de gordura subcutânea (EGS) não houve influência nem da taxa de crescimento, nem da condição sexual. Em estudo realizado por Morris et al. (1993), animais com diferentes taxas de crescimento também não apresentaram diferença na EGS. Da mesma maneira, Ribeiro et al. (2004) também não observaram diferença na EGS entre animais castrados cirurgicamente, imunocastrados ou não castrados terminados a pasto. Ainda, Cook et al. (2000) não encontraram diferenças na EGS quando comparou animais imunocastrados e não castrados terminados em confinamento. Embora a EGS não tenha sofrido efeito dos tratamentos, todos os grupos de animais foram abatidos com a EGS mínima de 5mm, que é a recomendada para bovinos da raça Nelore (Baldassini et al., 2017) de maneira que não houvesse influência da queda de temperatura durante a conversão do músculo em carne que ocorre nas primeiras 24 horas durante o resfriamento na câmara fria. Essa cobertura de gordura subcutânea também atua retardando o resfriamento muito rápido da carcaça, que, caso ocorra antes do estabelecimento do *rigor mortis*, pode levar ao encurtamento das fibras pelo frio ou *cold shortening* (Parrish et al., 1973; Marsh, 1977).

7.2 pH e Temperatura

O pH não foi influenciado nem pela taxa de ganho, nem pela condição sexual independente do tempo de avaliação. O metabolismo energético do músculo durante o *post mortem* está intimamente ligado à queda do pH durante esse período (FERGUSON & GERRARD, 2014) e ainda, de acordo com Bendal (1973), a quantidade de glicogênio armazenada no músculo é um dos principais fatores responsáveis pela determinação do pH final. Tanto a taxa de crescimento quanto a castração podem alterar o perfil morfométrico, sendo que animais com uma alta taxa de crescimento ou animais não castrados apresentam uma menor proporção de fibras do tipo I e IIa que animais que cresceram mais lentamente ou animais castrados. Fibras oxidativas tipo I e IIa possuem um menor teor de glicogênio, que influencia e reduz a taxa de glicólise e, portanto, por uma taxa de queda de pH mais lenta no pós-morte devido a um acúmulo mais lento de ácido lático e íons hidrogênio (ASTRUC et al., 2017). Ainda, uma maior proporção de fibras glicolíticas acelera a taxa e a extensão da queda de pH durante o período pós-morte (KIM 2013). No caso do presente estudo, pode-se presumir que a diferença no perfil morfométrico não foi grande o suficiente para que houvesse um impacto significativo desse parâmetro no pH final da carne. Embora não tenham sido encontradas diferenças nos valores de pH entre os tratamentos, os mesmos apresentaram valores médios considerados dentro da faixa ideal (MUCHENJE et al., 2009): 5,58 para animais de alta taxa de crescimento, 5,58 para animais de baixa taxa de crescimento, 5,58 para animais castrados cirurgicamente, 5,59 para animais imunocastrados e 5,58 para animais não castrados.

Já para a temperatura de carcaça, houve influência da taxa de ganho, sendo que nos tempos 6, 12 e 24hs de avaliação, animais com uma maior taxa de crescimento apresentaram uma maior temperatura de carcaça, independente da condição sexual. A maior temperatura observada em animais com alta taxa de ganho pode estar relacionada aos animais desse grupo terem apresentado uma maior AOL em relação aos animais pertencentes ao grupo com baixa taxa de crescimento na fase de recria, diminuindo a velocidade de resfriamento do músculo *Longissimus*.

7.3 Glicogênio Muscular

No presente estudo não foram encontradas diferenças nas concentrações de glicogênio muscular nem entre as taxas de ganho nem entre as condições sexuais independente do tempo de avaliação. Músculos com maiores proporções de fibras glicolíticas apresentam uma maior quantidade de glicogênio (GARDNER 2001). Uma vez que não houve diferença nas concentrações de glicogênio entre os tratamentos, pode-se presumir que a diferença no perfil morfométrico não foi grande o suficiente para que houvesse um impacto significativo do tipo de fibra nesse parâmetro. Embora não tenham sido encontradas diferenças na concentração de glicogênio entre os tratamentos, os mesmos apresentaram valores médios considerados dentro da faixa normal nos dois tempos avaliados (IMMONEN et al., 2000): às 0hs – 74,04 $\mu\text{mol/g}$ para animais de alta taxa de crescimento, 69,92 $\mu\text{mol/g}$ para animais de baixa taxa de crescimento, 70,69 $\mu\text{mol/g}$ para animais castrados cirurgicamente, 68,20 $\mu\text{mol/g}$ para animais imunocastrados e 77,05 $\mu\text{mol/g}$ para animais não castrados; ademais, para que haja uma queda normal de pH, é necessária uma concentração mínima de glicogênio de 53 $\mu\text{mol/g}$ de músculo (HENCKEL et al., 2002), complementando dessa maneira, os resultados de pH obtidos nesse estudo. Os valores de glicogênio muscular às 24hs – 30,56 $\mu\text{mol/g}$ para animais de alta taxa de crescimento, 29,46 $\mu\text{mol/g}$ para animais de baixa taxa de crescimento, 32,25 $\mu\text{mol/g}$ para animais castrados cirurgicamente, 26,37 $\mu\text{mol/g}$ para animais imunocastrados e 31,43 $\mu\text{mol/g}$ para animais não castrados também foram considerados dentro da faixa de normalidade de acordo com estudo realizados por Immonen et al. (2000).

7.4 Cor

Foi observada interação entre a taxa de ganho e a condição sexual para os valores de L^* e a^* . Para o parâmetro b^* , não houve influência dos tratamentos sobre os valores médios.

A cor da carne pode ser afetada por diversos fatores e tem grande importância em relação a aceitação sensorial por parte do consumidor. Ela é influenciada tanto pelo teor, quanto pelo estado físico-químico da mioglobina (desoximioglobina – Mb;

oximioglobina – MbO ou metamioglobina – MetMb), que de acordo com Henckel et al., 1997, é a principal proteína responsável pela cor da carne. A pigmentação da carne ocorre devido á associação do átomo de ferro com o núcleo de porfirina mioglobina, que tem como função principal armazenar oxigênio no músculo. O estado oxidativo do ferro pode variar para deoximioglobina (Fe^{+2}) apresentando cor vermelha púrpura e seu estado oxidado é conhecido como metamioblobina (Fe^{+3}) apresentando cor castanho claro (SUMAN; JOSEPH, 2013).

Ademais, a cor da carne também está relacionada com as características das fibras musculares. Fibras oxidativas do tipo I e IIa possuem um maior teor de mioglobina, além de apresentarem uma maior quantidade de mitocôndrias (Picard & Gagaoua, 2020). Uma maior concentração de mioglobina pode gerar músculos mais escuros (Joo e Kim, 2011) e mais vermelhos (Jeong et al., 2009).

Para o parâmetro L^* , entre os animais de alta taxa de crescimento, os animais imunocastrados apresentaram os maiores valores, diferindo dos animais castrados cirurgicamente e dos não castrados, que foram iguais entre si. Já entre os animais de baixa taxa de crescimento, não houve diferença. Os valores de L^* (luminosidade) estão positivamente relacionados com a refletância. Quanto maior for o teor de água livre e a desnaturação proteica, maior a refletância (PURCHAS, 1990). A castração cirúrgica e a imunocastração podem resultar em maiores valores de luminosidade (MIGUEL et al., 2014), corroborando os resultados obtidos entre animais de alta e baixa taxa de crescimento. Da mesma forma, animais não castrados podem apresentar menores valores desse parâmetro em função da depleção das reservas de glicogênio no *ante-mortem*, gerando uma falta de substrato que permitiria a queda de pH. Como não houve diferença no pH final entre os tratamentos, os valores de L^* encontrados no presente estudo podem ser explicados por um metabolismo mais oxidativo e uma maior abundância de mitocôndrias que podem favorecer o aparecimento de cortes mais escuros (MCKEITH et al., 2016) entre animais de alta taxa de ganho.

Por outro lado, para o parâmetro a^* , entre os animais de alta taxa de crescimento, os animais castrados cirurgicamente apresentaram os maiores valores de a^* , diferindo dos animais não castrados que obtiveram os menores valores de a^* . Nos animais de baixa taxa de crescimento não houve diferença entre os valores médios de a^* independente da condição sexual. Esses resultados entram em acordo com Miguel et al. (2014), que viram que a carnes de animais castrados cirurgicamente

apresentou maiores valores do parâmetro a^* quando comparada com a carne de animais não-castrados, indicando também, um possível aumento na aceitação dessa carne por parte do consumidor.

De acordo com estudo realizado por Lindahl, Lundstrom & Tornberg (2001) em suínos, o parâmetro b^* (intensidade de amarelo) parece ser mais fortemente influenciado pela forma da mioglobina presente no músculo, sendo a Mb e a MbO as mais relevantes nesse processo. Por outro lado, sofre pouca alteração em função da quantidade de pigmento presente na fibra muscular. A descoloração da carne ocorre mais intensamente em músculos que possuem uma maior proporção de fibras do tipo I, devido a uma maior taxa de consumo de oxigênio (Jeong et al., 2009). Uma vez que não houve diferença no parâmetro b^* entre os tratamentos, pode-se presumir que a diferença no perfil morfométrico não foi grande o suficiente para que houvesse um impacto significativo do tipo de fibra nesse parâmetro.

7.5 Perdas por Cocção

Para as perdas por cocção, houve interação entre taxa de crescimento e condição sexual, sendo que entre os animais de alta taxa de ganho, os animais CC apresentaram a maior porcentagem de PPC, os animais NC as menores, e os animais IC foram intermediários. Entre os animais de baixa taxa de ganho, não houve diferença nas PPC entre as condições sexuais.

De maneira geral, machos não castrados apresentam uma maior incidência de pH final das carcaças elevados ($>5,8$ - Immonen et al., 2000). O pH final da carne afeta diretamente a capacidade de retenção de água (CRA), sendo que carnes com pH final mais alto possuem uma maior capacidade de retenção de água, diminuindo as perdas por cocção (PURCHAS, 1990). Uma vez que os resultados de pH final obtidos no estudo se apresentaram dentro da faixa considerada normal e não foram diferentes entre os tratamentos, a diferença das porcentagens de perdas por cocção apresentadas entre grupos não era esperada.

7.6 Maciez

Os valores médios de força de cisalhamento não foram influenciados nem

pela taxa de ganho nem pela condição sexual, independente do tempo de maturação.

Uma taxa de crescimento mais acelerada possa levar a uma mudança no metabolismo energético das fibras musculares, levando a um aumento na frequência de fibras mais glicolíticas (WEGNER et al. 2000), que por sua vez, possuem uma maior área transversal, essa sendo frequentemente associada a um impacto negativo na maciez da carne (SEIDEMAN, CROUSE & CROSS, 1986). No caso do presente estudo, pode-se presumir que a diferença no perfil morfométrico não foi grande o suficiente para que houvesse um impacto significativo desse parâmetro na maciez da carne. Razook et al. (2002) também não encontraram diferenças na maciez da carne de animais com diferentes taxas de crescimento.

De maneira geral, animais não castrados apresentam a carne ligeiramente menos macia do que a de animais castrados (FIELD, 1970; SEIDEMAN et al., 1982). Isso pode ocorrer por diversos fatores como a maior atividade da calpastatina presente em animais não castrados. A calpastatina é a inibidora natural das calpaínas; proteases cálcio dependentes que atuam no complexo relacionado com a maciez da carne (ANDREO 2013), sendo responsáveis pelo amaciamento durante o processo de maturação da carne (KOOHMARAIE 1992). Porém, de acordo com Purchas (2002), essas diferenças encontradas na maciez são inconsistentes e, muitas vezes, não significativas, principalmente quando se trata de animais jovens (< 24 meses) - como ocorreu nesse estudo, onde os animais foram abatidos com uma média de 21 meses de idade - e com algum tempo de maturação (Field, 1971). Da mesma maneira, Machado et al., (2018) e Gómez et al., (2017) não encontraram diferenças nas características de qualidade da carne de animais imunocastrados quando comparados com animais castrados cirurgicamente e não castrados.

7.7 Comprimento de Sarcômero

O comprimento de sarcômero não sofreu impacto nem da taxa de crescimento nem da condição sexual. Embora no presente estudo não tenham sido encontradas diferenças nos comprimentos de sarcômero entre os tratamentos, o mesmo tem um efeito direto sobre a maciez da carne (PURCHAS; AUNGSUPAKORN, 1993; WHEELER; KOOHMARIE, 1999), uma vez que sarcômeros encurtados podem ser associados com um endurecimento da carne, como o que ocorre por exemplo no encurtamento pelo frio ou *cold shortening*

(HERRING; CASSENS; RRISKEY, 1965). De acordo com Bouton et al. (1973), a dureza da carne, quando avaliada instrumentalmente, não depende do comprimento do sarcômero quando o valor desse comprimento for maior do que 1,8 μm . Dessa maneira, os resultados obtidos na avaliação de força de cisalhamento e comprimento de sarcômero se suportam no presente estudo. Ademais, o comprimento de sarcômero pode ser afetado pelo pH final da carne, sendo que esse comprimento tende a aumentar com a diminuição do pH (PURCHAS, 1990).

7.8 Análise de Aceitação Sensorial

Embora tenham sido observadas interações entre a taxa de crescimento e a condição sexual, a maior percepção de diferença sensorial entre os tratamentos aparenta ser guiada pelas diferentes taxas de crescimento durante a recria, sendo que de maneira geral os animais que tiveram uma alta taxa de crescimento receberam maiores (melhores) notas de avaliação sensorial. De maneira geral, um crescimento acelerado durante a vida do animal tem sido descrito como um fator que resulta em carnes mais macias e palatáveis. Ainda, de acordo com Oddy, Harper e McDonagh (2001) concluíram que a variação na taxa de crescimento pode impactar na estrutura e ligações cruzadas da matriz do colágeno e pode alterar a atividade proteolítica e a potencial taxa de glicólise do componente miofibrilar do músculo. Ademais, entre um grupo de animais, uma taxa de crescimento entre 0,6 e 1,0 kg/dia resultou em um aumento na palatabilidade (THOMPSON, 2002).

A condição sexual, por outro lado, parece ter tido pouco efeito na aceitação sensorial. Em animais não castrados, Gerrard et al. (1987) observou uma maturação mais rápida do colágeno quando comparado com animais castrados, o que poderia ocasionar uma diminuição na maciez da carne em função da diminuição da solubilidade do colágeno. Porém, essa diferença parece ser mais acentuada em animais abatidos com mais de 30 meses de idade (PURCHAS, 1989). Animais não castrados também apresentam normalmente, uma deposição mais tardia de gordura subcutânea quando comparados com animais castrados. Esse atraso na deposição de gordura pode levar ao encurtamento das fibras pelo frio, o que pode afetar negativamente a maciez da carne. No presente estudo, o critério de abate utilizado foi uma espessura de gordura subcutânea mínima de 5mm, que é a recomendada para bovinos da raça Nelore (Baldassini et al., 2017) para prevenir o encurtamento

das fibras pelo frio. Pode-se inferir então que, animais de diferentes condições sexuais, se abatidos jovens e com uma cobertura de gordura adequada não diferem nas suas características de aceitação sensorial.

Ademais, com o aumento do tempo de maturação, parece haver uma diminuição na percepção de diferença entre os tratamentos por parte do consumidor, implicando que períodos de maturação mais longos tendem a homogeneizar o produto, o que entra em acordo com estudo realizado por Sañudo et al. (2004).

7.9 Composição Centesimal

A condição sexual dos animais influenciou o percentual de gordura da carne e o teor de umidade sendo que animais castrados cirurgicamente apresentaram um maior percentual de gordura, um menor teor de umidade e uma maior densidade energética (Kcal/100g) quando comparados com os animais imunocastrados e não castrados. Machos bovinos castrados, de maneira geral, apresentam não só uma maior espessura de gordura subcutânea como também uma maior deposição de gordura intramuscular quando comparados com animais não castrados (SEIDEMAN 1982; WEGLARZ, 2010), podendo explicar o maior percentual de gordura encontrado na carne desses animais no presente estudo. Ademais, a quantidade de água presente no músculo é inversamente relacionada com o teor de gordura presente no mesmo, enquanto o teor de proteína se mantém constante (JUÁREZ et al., 2012), tornando os resultados obtidos complementares.

Entre os principais macronutrientes (proteínas, carboidratos e gorduras), a gordura é a que possui a maior densidade calórica, correspondendo a 9 calorias/grama de gordura, enquanto proteínas e carboidratos possuem apenas 4 calorias/grama (OSILLA, SAFADI & SHARMA, 2022). Uma maior porcentagem de gordura na carne de animais castrados cirurgicamente, explica, dessa maneira, a maior densidade energética observada nesse estudo.

8. CONCLUSÃO

Animais abatidos jovens e com acabamento de gordura adequado não diferem em suas características de qualidade de carne, independente da condição sexual. A taxa de crescimento durante a recria, por outro lado, parece ter grande

influência sobre as características sensoriais da carne.

8. REFERÊNCIAS

- ABERLE, E. D. et al. Principles of Meat Science. 4th ed. Kendal: Hunt Publishing Company, 354 p., 2001.
- AMATAYAKUL-CHANTLER, S. et al. Brown Swiss bulls in a feedlot with the *Bos indicus* immunocastration of gonadotropin-releasing hormone vaccine Bopriva provides improved performance and meat quality. *Journal of Animal Science*, Champaign, v. 90, p. 3718-3728, 2012.
- AMSA. **Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation, and Instrumental Tenderness Measurements of Meat**. 2. ed. Champaign, Illinois: American Meat Science Association, 2015.
- 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**, Londrina, v. 34, n. 6 Supl 2, p. 4121, 2013.
- ANTONELO, D.S.; MAZON, M. R.; NUBIATO, K. E. Z.; GÓMEZ, J. F. M.; BRIGIDA, D. J.; GOMES, R. C.; NETTO, A. S.; LEME, P. R.; SILVA, S. L. Effects of immunocastration and β adrenergic agonists on the performance and carcass traits of feedlot finished Nelore cattle. *Animal*, v.11, p.2103-2110, 2017.
- APAOBLAZA, A., GERRARD, S. D., MATARNEH, S. K., WICKS, J. C., KIRKPATRICK, L., ENGLAND, E. M., SCHEFFLER, T.L., DUCKETT, S.K., SHI, S.K., SILVA, S.L., GRANT, A.L., GERRARD, D. E. Muscle from grass- and grain-fed cattle differs energetically. **Meat Science**, 161, 2020
- ARANGO, J. A.; VAN VLECK, L. D. Size of beef cows: early ideas, new developments. *Genet. Mol. Res.*, v. 31, p. 51-63, 2002.
- ARNOLD, A. M.; PERALTA, J. M.; THONNEY, M. L. Effect of testosterone on differential muscle growth and on protein and nucleic acid concentrations in muscles of growing lambs. **Journal of Animal Science**, Champaign, IL, v. 75, p. 1495–1503, 1997.
- ASHMORE, C. R., TOMPKINS, G., & DOERR, L. Postnatal Development of Muscle Fiber Types in Domestic Animals. **Journal of Animal Science**, 34(1), p. 37–41, 1972.
- ASTRUC, T.; VENIEN, A. Muscle fiber type and beef quality. In *Ensuring safety and quality in the production of beef*, Vol. 2; Dikeman, M. E., Ed.; Burleigh Dodds Science: London, 2017; Chapter 3, pp 1–23, DOI: 10.4324/9781351114172.
- BALDASSINI, W. A.; CHARDULO, L. A. L.; SILVA, J. A. V.; MALHEIROS, J. M.; DIAS, V. A. D.; ESPIGOLAN, R.; PADILHA, P. M. (2017). Meat quality traits of Nelore bulls according to different degrees of backfat thickness: a multivariate approach. **Animal Production Science**, 57(2), 363-370.
- BALL P. J. H., P. A. R. **Reprodução em bovinos**. Terceira ed. [s.l: s.n.], 2006.
- BANKS, W. J. *Histologia veterinária aplicada*. 2ed. São Paulo: Manole, 1991. 629p.
- BARANY, M. Atpase activity of myosin correlated with speed of muscle shortening. *J. Gen. Physiol.* v. 50, p. 197–218, 1967.
- BENDALL, J., 1973. Postmortem changes in muscle. In: Bourne, G.H. (Ed.), *Structure and*

Function of Muscle, vol. 2. Acad. Press, New York, pp. 234e309.

BERGMEYER, H. U. Methods of enzymatic analysis (3rd ed.)VI, Verlag Chemie: Weinheim, 1984.

BLACK, J. L. Animal Growth and its regulation. *J. Anim. Sci.*, v. 66, p. 1-22, 1988.

BONNEAU, M.; ENRIGHT, W. J. Immunocastration in cattle and pigs. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 42, n. 2-3, p. 193–200, jun. 1995.

BOTTINELLI, R.; REGGIANI, C. Human skeletal muscle fibers: molecular and functional diversity. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, vol. 73, p. 195-262, 2000.

BOUTON, P. E.; FISHER, A. L.; HARRIS, P. V.; BAXTER, R. I. A comparison of the effects of some post-slaughter treatments on the tenderness of beef. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 8, p. 39-49, 1973.

BOUTON, P. E.; FORD, A. L.; HARRIS, P. V. SHORTHOSE, W. R.; RATCLIFF, D.; MORGAN, J. H. L. Influence of animal age on the tenderness of beef muscle differences. *Meat Science*, v. 2, p. 301-311, 1978.

BROOKE AND KAISER. Muscle fiber type: how many and what kind? **Archives of Neurology**, v. 23, p. 369, 1970.

CALKINS, C. R.; DUSTON, T. R.; SMITH, G. C.; CARPENTER, Z. L.; DAVIS, G. W. Relationship of fiber type composition to marbling and tenderness of bovine muscle. *Journal of Food Science*. 46, 708–715, 1981.

CARVALHO, R. M. S.; BOARI, C. A.; VILLELA, S. D. J.; PIRES, A. V.; MOURTHÉ, M. H. F. OLIVEIRA, F. R. ... MARTINS, P. G. M. A. Differences between sexes, muscles and aging times on the quality of meat from Wagyu Angus cattle finished in feedlot. *Animal Production Science*, v. 58, p. 350-357, 2016.

CASSAR-MALEK, I.; SUDRE, K.; BOULEY, J.; LISTRAT, A.; UEDA, Y.; JURIE, C. Integrated approach combining genetics, genomics and muscle biology to manage beef quality. In: Annual Meeting of The British Society of Animal Science, York (England), 24–26th March 2003 (p. 52). Proceedings of the British Society of Animal Science.

CHOI, Y. M.; KIM, B. C. Muscle fiber characteristics, myofibrillar protein isoforms, and meat quality. *Livestock Science*, 122, 105–118, 2009.

COOK, R. B. et al. The effects of active immunization against GnRH on testicular development, feedlot performance, and carcass characteristics of beef bulls. **Journal of Animal Science**, Champaign, IL, v. 78, n. 11, p. 2778-2783, 2000.

CROSS, H. R.; WEST, R. L.; DUTSON, T. R. Comparison of methods for measuring sarcomere length in beef semitendinosus muscle. **Meat Science**, v. 5, n. 4, p. 261–266, 1981.

CROWDER, M. J.; HAND, D. J. *Analysis of Repeated Measures*, 1990.

D'OCCHIO, M. J.; ASPDEN, W. J.; TRIGG, T. E. Sustained testicular atrophy in bulls actively immunized against GnRH: potential to control carcass characteristics. **Animal Reproduction Science**, Amsterdam, v. 66, n. 1-2, p. 47–58, 2001.

DU, M.; TONG, J.; ZHAO, J.; UNDERWOOD, K. R.; ZHU, M.; FORD, S. P.; NATHANIELSZ, P.

W. Fetal programming of skeletal muscle development in ruminant animals. **Journal of animal science**, v. 88, n. 13 Suppl, 2010.

DUBOWITZ, V.; BROOKE, M. Muscle biopsy: a modern approach. London: W.B. Saunders Company, 1984. 472p.

DURIS, M-P.; PICARD, B.; GEAY, Y. Specificity of different anti-myosin heavy chain antibodies in bovine muscle. *Meat Science* 55:67–78, 2000.

ENGLAND, E. M.; MATARNEH, S. K.; MITACEK, R. M.; ABRAHAM, A.; RAMANATHAN, R.; WICKS, J. C.; SHI, H.; SCHEFFLER, T. L.; OLIVER, E. M.; HELM, E. T.; GERRARD, D. E. Presence of oxygen and mitochondria in skeletal muscle early post-mortem. *Meat Science*, v. 139, p. 97-106, 2018.

ENGLAND, E. M.; MATARNEH, S. K.; SCHEFFLER, T. L.; GERRARD, D. E. Perimortal muscle metabolism and its effect on meat quality. In: *New Aspects of Meat Quality*, 2017.

ENGLAND, E. M., MATARNEH, S. K., SCHEFFLER, T. L., WACHET, C., & GERRARD, D. E. Altered AMP deaminase activity may extend postmortem glycolysis. **Meat Science**, v.102, p.8–14, 2015.

FAUSTMAN, C.; CASSENS, R. G. The biochemical basis for discoloration in fresh meat: a review. *J. Muscle Foods* 1 (3), 217–243, 1990.

FAUSTMAN, C.; SUN, Q.; MANCINI, R.; SUMAN, S. P. Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. *Meat Science*, 86, 86–94, 2010.

FERGUSON, D. M.; DALY, B. L.; GARDNER, G. E.; TUME, R. K. Effect of glycogen concentration and form on the response to electrical stimulation and rate of post-mortem glycolysis in ovine muscle. *Meat Science*, v. 78, p. 202-210, 2008.

FERGUSON, D. M.; GERRARD, D. E. Regulation of pós-morte glycolysis in ruminant muscle. *Animal Production Science*, v. 54, p. 464–481, 2014.

FIELD, R.A. Effect of Castration on Meat Quality and Quantity. *Journal of Animal Science*, v.32, n.5, p. 849–858, 1971.

FORREST, J. C.; ABERLE, E. D.; HEDRICK, H. B.; JUDGE, M. D.; MERKEL, R. A. *Fundamentos de ciencia de la carne*. Zaragoza: Acribia, 1979. 364p.

FRONTERA, W. R.; OCHALA, J. Skeletal Muscle: a brief review of structure and function. *Calcif Tissue Int.*, v. 96, p. 183-195, 2015.

GAGAOUA, M.; TERLOUW, E. M.; MICOL, D.; BOUDJELLAL, A.; HOCQUETTE, J. F. & PICARD, B. Understanding early post-mortem biochemical processes underlying meat color and pH decline in the Longissimus thoracis muscle of young blond d'Aquitaine bulls using protein bio- markers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 63(30), p. 6799–6809, 2015.

GARDINER, P. F. *Neuromuscular Aspects of Physical Activity*. Human Kinetics, 2001.

GERRARD, D. E., JONES, S. J. ABERLE, E. D. LEMENAGER, R. P., DIEKMAN, M. A.,

JUDGE, M. D. Collagen stability, testosterone secretion and meat tenderness in growing bulls and steers. **Journal of Animal Science**, n 65, 1987.

GERRARD, D. E.; GRANT, A. L. **Principles of animal growth and development**. 2006

GÓMEZ, J. F. M.; SARAN NETTO, A.; ANTONELLO, D. S.; SILVA, J.; SENE, G.A.; SILVA, H. B.; DIAS, N. P.; LEME, P. R.; SILVA, S. L. Effects of immunocastration on the performance and meat quality traits of feedlot-finished *Bos indicus* (Nellore) cattle. *Animal Production Science*, v.59, n.1, 183-190, 2017.

GÓMEZ, J. F. M.; ANTONELLO, D. S., BELINE, M.; PAVAN, B.; BAMBIL, D. B.; FANTINATO-NETO, P.; SARAN NETTO, A.; LEME, P. R.; GOULART, R. S.; GERRARD, D. E.; SILVA, S. L. Feeding strategies impact animal growth and beef color and tenderness. *Meat Science*, v. 183, 2022.

GREENWOOD, P.L.; DUNSHEA, F. R. Biology and regulation of carcass composition. In KERRY, J. P.; LEDWARD, D. (Eds.), *Improving the sensory and nutritional quality of fresh meat*. Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, 2009.

GUSTAFSON, B.; HEDJAZIFAR, S.; GOGG, S.; HAMMARSTEDT, A.; SMITH, U. Insulin resistance and impaired adipogenesis. **Trends in Endocrinology and Metabolism**, v. 26, n. 4, p. 193–200, 2015

HAFEZ, B. H. e E. S. E. **Reprodução animal**. Mamole Ltd ed. [s.l: s.n.], 2004.

HAMMELMAN, J. E.; BOWKER, B. C.; GRANT, A. L.; FORREST, J. C.; SCHINCKEL, A. P.; & GERRARD, D. E. Early postmortem electrical stimulation simulates PSE pork development. **Meat Science**, v. 63(1), p. 69–77, 2003.

HENCKEL, P.; OKSBJERG, N.; ERLANDSEN, E.; BARTON-GADE, P.; BEJERHOLM, C. Histo- and biochemical characteristics of the longissimus dorsi muscle in pigs and their relationships to performance and meat quality. *Meat Science*, 47(3-4), p. 311-321, 1997.

HENCKEL, P, KARLSSON, A., JENSEN, M. T., OKSBJERG, N., PETERSEN, J. S. Metabolic conditions in Porcine *longissimus* muscle immediately pre-slaughter and its influence on peri and post mortem energy metabolism. **Meat Science**, v. 62, n. 2, p. 145-155, 2002.

HERNANDEZ, J. A.; ZANELLA E. L.; BOGDEN, R.; DE AVILA, D.M.; GASKINS, C. T.; REEVES, J. J. Reproductive characteristics of grass-fed, luteinizing hormone-releasing hormone-immunocastrated *Bos indicus* bulls. **Journal of Animal Science**, 2005.

HERRING, H. K.; CASSENS, R. G.; RRISKEY, E. J. Further studies on bovinemuscle tenderness as influenced by carcass position, sarcomere length, and fiber diameter. **Journal of Food Science**, Hoboken, NJ, v. 30, n. 6, p. 1049– 1054, 1965.

HWANG, Y. H.; KIM, G. D.; JEONG, J. Y.; HUR, S. J.; JOO, S. T. The relationship between muscle fiber characteristics and meat quality traits of highly marbled Hanwoo (Korean native cattle) steers. **Meat Science**, 86, 456– 461, 2010.

IMMONEN, K., KAUFFMAN, R. G., SCHAEFER, D. M., PUOLANNE, E. Glycogen concentrations in bovine *longissimus dorsi* muscle. **Meat Science**, v. 54, p. 163-167, 2000.

IMMONEN, K., RUUSUNEN, M., HISSA, K., PUOLANNE, E. Bovine muscle glycogen concentration in relation to finishing diet, slaughter and ultimate pH. **Meat Science**, v.55, n.1, p.25-

31, 2000.

JANETT, F. et al. Vaccination against gonadotropin-releasing factor (GnRF) with Bopriva significantly decreases testicular development, serum testosterone levels and physical activity in pubertal bulls. *Theriogenology*, Philadelphia, v. 78, p. 182-188, 2012.

JEONG, J. Y.; HUR, S. J.; YANG, H. S.; MOON, S. H.; HWANG, Y. H.; PARK, G. B.; & JOO, S. T. Discoloration characteristics of 3 major muscles from cattle during cold storage. *Journal of Food Science*, 74, C1–C5, 2009.

JOO, S. T.; KAUFFMAN, R. G.; KIM, B. C.; KIM, C. J. The relationship between color and water-holding capacity in post-rigor porcine longissimus muscle. *Journal of Muscle Foods*, 6(3), p. 211–226, 1995.

JOO, S. T.; KAUFFMAN, R. G.; KIM, B. C.; PARK, G. The relationship of sarcoplasmic and myofibrillar protein solubility to color and water-holding capacity in porcine longissimus muscle. *Meat Science*, v. 52, p. 291-297, 1999.

JOO, S. T.; KIM, G. D. Meat quality traits and control technologies. *Control of meat quality* (p. 1-29), 2011. **Research Signpost**.

JOO, S. T.; KIM, G. D.; HWANG, Y. H.; RYU, Y. C. Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics. *Meat Science*, 95, 2013.

JUÁREZ, M.; ALDAI, N.; LÓPEZ-CAMPOS, Ó.; DUGAN, M. E. R.; UTTARO, B.; AALHUS, J. L. “Beef texture and juiciness”, in *Handbook of Meat and Meat Processing*, HUI, Y. H. Ed., CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2nd edition, 2012.

JURIE, C.; ROBELIN, J.; PICARD, B.; GEAY, Y. Post-natal changes in the biological characteristics of semitendinosus muscle in male Limousin cattle. *Meat Science*, v. 41, p. 125-135, 1995.

KAUFFMAN, R. G.; CASSENS, R. G.; SCHERER, A. MEEKER, D. L. Variations in pork quality: History, definition, extent, resolution. National Pork Producers Council Publication. Des Moines, Iowa, 1992.

KHAN, M. I.; JO, C.; TARIQ, M. R. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors - A systematic review. *Meat Science*, v. 110, p. 278-284, 2015.

KIM, G. D., JEONG, J. Y., JUNG, E. Y., YANG, H. S., LIM, H. T., JOO, S. T. The influence of fiber size distribution of type IIB on carcass traits and meat quality in pigs. *Meat Science* 94, 267–273, 2013.

KIM, G. D.; JEONG, J. Y.; HUR, S. J.; YANG, H. S.; JEON, J. T.; JOO, S. T. The relationship between meat color (CIE L* and a*), myoglobin content, and their influence on muscle fiber characteristics and pork quality. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*. V. 30, n.4, p. 626-633, 2010.

KOLB, E. *Fisiologia Veterinária*. 4th ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 612 p., 1987.

KOOHMARAIE, M. The role of Ca²⁺ dependente proteases (calpains) in post mortem proteolysis and meat tenderness. *Biochimie*, v. 74, p. 239-245, 1992.

KOOHMARAIE, M.; KENT, M. P.; SHACKELFORD, S. D.; VEISETH, E.; WHEELER, T. L.

Meat tenderness and muscle growth: is there any relationship? **Meat Science**, v. 62, n. 3, p. 345–352, 2002.

LAWRIE, R. A. The eating quality of meat. *Meat science*, v. 4, p. 300-362, 1998.

LEFAUCHEUR, L. A second look into fiber typing - Relation to meat quality. **Meat Science**, v. 84, n. 2, p. 257–270, 2010.

LEFAUCHEUR, L.; GERRARD, D. E. Muscle fiber plasticity in farm mammals. *Journal of Animal Science*, 2000

LINDAHL, G.; LUNDSTROM, K.; TORBERG, E. Contribution of pigment content, myoglobin forms and internal reflectance to the colour of pork loin and ham from pure breed pigs. **Meat Science**, v. 59, p. 141-151, 2001.

LISTRAT, A.; LEBRET, B.; LOUVEAU, I.; ASTRUC, T.; BONNET, M.; LEFAUCHEUR, L.; PICARD, B.; BUGEON, J. How Muscle Structure and Composition Influence Meat and Flesh Quality. **The Scientific World Journal**, v. 2016, 2016.

LUCHIARI FILHO, A. *Pecuária da carne bovina*. São Paulo: Luchiari Filho, 2000. 135p.

MACHADO, D.S.; JONER, G.; PEREIRA, L.B.; POTTER, L.; BRONDANI, I.L.; ALVES FILHO, D.C. Meta-analysis of the immunocastration technique (anti-GnRH) for male bovines in the finishing phase. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.53, n.8, p.961-969, 2018.

MALTIN, C. A.; SINCLAIR, K. D.; WARRIS, P. D.; GRANT, C. M.; PORTER, A. D.; DELDAY, M. I.; WARKUP, C. C. The effects of age at slaughter, genotype and finishing system on the biochemical properties, muscle fiber type characteristics and eating quality of bull beef from suckled calves. **Animal Science**, n. 66, p. 341-348, 1998.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T. **Sensory evaluation techniques**. Boca Raton: CRC, v.2, p. 159, 1987.

MARSH, B.B. Basis of tenderness in muscle foods. *Journal of Food Science*, Chicago, v.42, n.2, p.295-297, 1977.

MARTI, S. et al. Effect of anti-gonadotropin-releasing factor vaccine and band castration on indicators of welfare in beef cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, IL, v. 93, p. 1581–1591, 2015.

MARTI, S.; JACKSON, J. A.; SLOOTMANS, N.; LOPEZ, E.; HODGE, A.; PÉREZ-JUAN, M.; ... AMATAYAKUL-CHANTLER, S. Effects on performance and meat quality of Holstein bulls fed high concentrate diets without implants following immunological castration. *Meat Science*, 126, 36–42, 2017.

MARTI, S.; REALINI, C. E.; BACH, A.; PÉREZ-JUAN, M.; DEVANT, M. Effect of castration and slaughter age on performance, carcass, and meat quality traits of Holstein calves fed a high-concentrate diet. *Journal of Animal Science*, v.91, p.1129–1140, 2013.

MATARNEH, S. K., SCHEFFLER, T. L., GERRARD, D. E. Chapter 5 - The conversion of muscle to meat, in *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Lawrie's Meat Science (Ninth Edition)*, p. 159-194, 2023.

MATARNEH, S. K.; ENGLAND, E. M.; SCHEFFLER, T. L.; GERRARD, D. E. The conversion

of

muscle to meat. In: **Lawrie's Meat Science**. Eighth ed. 159–185. 2017.

MAZON, M.R.; ANTONELLO, D.S.; GÓMEZ, J. F.M.; NUBIATO, K. E.Z.; BALAGE, J.M.; SILVA, H.B.; TAPP III, W.N.; LEME, P.R.; GOULART, R.S.; FUKUMASU, H.; JOHNSON, B.J.; PESCE, D.M.C; SILVA, S.L. Effects of combining immunocastration and β -adrenergic agonists on the meat quality of Nelore cattle. *Livestock Science*, v.226, p.13-20, 2019

MCKEITH, R. O. et al. Mitochondrial abundance and efficiency contribute to lean color of dark cutting beef. **Meat science**, Amsterdam, v. 116, p. 165–73, jun. 2016.

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

MILLER, M. Dark, firm and dry beef. **National Cattlemen's Beef Association, Centennial, CO**, 2007.

MONIN, G., SELLIER, P. Pork of low technological quality with a normal rate of muscle pH fall in the immediate post-mortem period: The case of the Hampshire breed. **Meat Science**, v.13, n.1, p. 49–63, 1985.

MOLONEY, A. P.; MCGEE, M. Chapter 2 – Factors influencing the growth of meat animals, in *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Lawrie's Meat Science (Ninth Edition)*, p. 21-50, 2023.

MORAN, L.; O'SULLIVAN, M. G.; KERRY, J. P.; PICARD, B.; MCGEE, M.; O'RIORDAN, E. G.; MOLONEY, A. P. Effect of a grazing period prior to finishing on a high concentrate diet on meat quality from bulls and steers. *Meat Science*, v. 125, p. 76-83, 2017.

MORRIS, C.A.; BAKER, R.L.; BASS, J.J. et al. Carcass composition in weight-selected and control bulls from a serial slaughter experiment. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.44, n.2, p.199-213, 1993.

MORGAN, J. B. et al. Meat tenderness and the calpain proteolytic system in longissimus muscle of young bulls and steers. **Journal of animal science**, Champaign, IL, v. 71, n. 6, p. 1471–1476, 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, 2009.

NEEDHAM T.; LAMBRECHTS H.; HOFFMAN L.C. Castration of male livestock and the potential of immunocastration to improve animal welfare and production traits: Review. *South African Journal of Animal Science* v. 47, p.731-742, 2017.

NELSON, D. L.; COX, M. M. *Princípios de bioquímica de Lehninger*. Artmed Editora, 2014.

NSOSO, S. J.; YOUNG, M. J.; BEATSON, P. R. The genetic control and manipulation of lean tissue, growth and body composition in sheep. *Animal Breeding Abstracts*, v. 67, p. 433-444, 1999.

ODDY, V. H, HARPER, G. S., MCDONAGH, M. B. Nutritional and developmental effects on the intrinsic properties of muscles as they relate to the eating quality of beef. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 41, p. 921-942.

OLIVEIRA, V. A.; SILVEIRA, A. C.; PEDRA, A. Comunicação pessoal, 2006.

OSILLA, E. V.; SAFADI, A. O.; SHARMA, S. Calories. In: StatPearls. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL); 2022. PMID: 29763084.

OWENS, F. N.; DUBESKI, P.; HANSONT, C. F. Factors that Alter the Growth and Development of Ruminants1f2 ABSTRACT : **Journal of Animal Science**, v. 71, n. 11, p. 3138–3150, 1993.

OWENS, F. N.; GILL, D. R.; SECRIST, D. S.; COLEMAN, S. W. Review of some aspects of growth and development of feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, v. 73, n. 10, p. 3152–3172, 1995.

PAGE, J. K.; WULF, D. M.; SCHWOTZER, T. R. A survey of beef muscle color and pH. **Journal of Animal Science**, v. 79, n. 3, p. 678–687, 2001.

PARRISH, F.C. et al. Effect of postmortem conditions on certain chemical, morphological and organoleptic properties of bovine muscle. **Journal of Food Science**, v.38, p.690-695, 1973.

PEARCE, K. L., ROSENVOLD, K., ANDERSEN, H. J., HOPKINS, D. L. Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes — A review, **Meat Science**, v. 89, Issue 2, p. 111-124, 2011.

PEARSE, A. G. E. Histochemistry, theoretical and applied. 3. ed. Edimburgo: Churchill & Livingstone, 1972.

PÉREZ-LINARES, C., BOLADO-SARABIA, L., FIGUEROA-SAAVEDRA, F., BARRERAS-SERRANO, A., SÁNCHEZ-LÓPEZ, E., TAMAYO-SOSA, A. R., ... GALLEGOS, E. Effect of immunocastration with Bopriva on carcass characteristics and meat quality of feedlot Holstein bulls. *Meat Science*, 123, 45–49, 2017.

PERRY, D.; THOMPSON, J. M. The effect of growth rate during backgrounding and finishing on meat quality traits in beef cattle. *Meat Science*, v. 69 (4), p. 691-702, 2005.

PETER, J. B.; BARNARD, R. J.; EDGERTON, V. R.; GILLESPIE, C. A.; STEMPEL, K. E. Metabolic profiles of three types of fibers of skeletal muscles in guinea pig and rabbits. *Biochemistry*, v.11, p.2627-2633, 1972.

PICARD, B.; CASSAR-MALEK, I. Evidence for expression of IIb myosin heavy chain isoform in some skeletal muscles of Blonde d’Aquitaine bulls. *Meat Science*, v. 82, p.30–36, 2009.

PICARD, B., GAGAOUA, M. Muscle fiber properties in cattle and their relationships with meat qualities: An overview. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2020.

PONNAMPALAM, E.N., HOPKINS, D.L., BRUCE, H., LI, D., BALDI, G., BEKHIT, A.E. Causes and Contributing Factors to “Dark Cutting” Meat: Current Trends and Future Directions: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. v.16, p.400-430, 2017.

PRATES, J. M. M. Maturação da carne dos mamíferos: 1. Caracterização geral e modificações físicas. *Revista portuguesa de ciências veterinárias*, v. XCV, n. 533, p. 34-41, 2000.

PURCHAS, R. W. On-farm factors affecting meat quality characteristics. **Meat Production and Processing**, v. Occasional publication n. 11, New Zealand Society of Animal Production.

PURCHAS, R. W. An assessment of the role of pH differences in determining the relative tenderness of meat from bulls and steers. **Meat Science**, v. 27, n. 2, p. 129–140, 1990.

PURCHAS, R. W.; AUNGSUPAKORN, R. Further investigations into the relationship between ultimate pH and tenderness for beef samples from bulls and steers. **Meat Science**, v. 34, n. 2, p. 163–178, 1993.

PURCHAS, R.W.; BURNHAM, D. L.; MORRIS, S. T. Effects of growth potential and growth path on tenderness of beef longissimus muscle from bulls and steers. *Journal of Animal Science*, v.80, p.3211- 3221, 2002.

PURSLOW, P. P. The Structure and Growth of Muscle. In: **Lawrie's Meat Science**. Eighth edi ed. 49–97. 2017.

PURSLOW, P. P. Chapter 3 - The Structure and Growth of Muscle, in Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, *Lawrie's Meat Science (Ninth Edition)*, p. 51-104, 2023.

RAMANATHAN, R.; SUMAN, S. P.; FAUSTMAN, C. Biomolecular Interactions Governing Fresh Meat Color in Post- mortem Skeletal Muscle: A Review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2020.

RAMOS, P. M.; WRIGHT, S. A.; DELGADO, E. F.; VAN SANTEN, E.; JOHNSON, D. D.; SCHEFFLER, J. M.; ELZO, M. A.; CARR, C. C.; SCHEFFLER, T. L. Resistance to pH decline and slower calpain-1 autolysis are associated with higher energy availability early post-mortem in bos taurus indicus cattle. *Meat Science*, v. 159, 107925, 2020.

RAZOOK, A. G.; FIGUEIREDO, L. A.; RUGGIERI, A. C. et al. Desempenho em pastagens e características de carcaça da 16^a progênie dos rebanhos Nelore, guzerá e Caracu de Sertãozinho (SP). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 31, n. 3, p. 1367-1377, 2002.

REHFELDT, C.; FIEDLER, I.; DIETL, G. ENDER, K. Myogenesis and postnatal skeletal muscle cell growth as influenced by selection. **Livestock Production Science**, v. 66, p. 177-188, 2000.

RENAND, G.; BERGE, P.; PICARD, B.; ROBELIN, J.; GEAY, Y.; KRAUSS, D.; MÉNISSIER, F. Genetic parameters of beef production and meat quality traits of young Charolais bulls progeny of divergently selected sires. *Elevage et Insemination*, 1994.

RENAND, G.; PICARD, B.; TOURAILLE, C.; BERGE, P.; LEPETIT, J. Relationships between muscle characteristics and meat quality traits of young Charolais bulls. *Meat Science*, 59, 49–60, 2001.

RENERRE, M. Variabilité entre muscles et entre animaux de la stabilité de la couleur des viandes bovines. *Sci. Aliment.* 4:, p. 567-584, 1984.

RENERRE, M. Review: Factors involved in the discoloration of beef. *International Journal of Food Science and Technology*, v .25, p. 613-630, 1990.

RESCONI, V. C.; ESCUDERO, A.; CAMPO, M. M. The development of aroma in ruminant meat. *Molecules*, v. 18, p. 6748-6781, 2013.

RIBEIRO, E. L. de A. et al. Growth and carcass characteristics of pasture fed LHRH immunocastrated and intact Bos indicus bulls. **Meat Science**, Amsterdam, v. 68, n. 2, p. 285-290, 2004.

ROBBINS, K.; JENSEN, J.; RYAN, K. J.; HOMCO-RYAN, C.; MCKEITH, F. K.; BREWER, M. S. Effects of dietary vitamin E supplementation on textural and aroma attributes of enhanced beef clod roasts in a cook/hot hold situation. *Meat Science*, v. 64, p. 317-322, 2003.

ROÇA, R. O., HOE, F., ANDRADE, E. N., ARAUJO, A. P., COSTA, Q. P. B., SIGARINI, C. O., POLIZEL NETO, A., ATHAYDE, N. B., DELBEM, N. L. C., GIRAO, L. V. C. Imunocastração de bovinos criados em pasto: composição centesimal e propriedades sensoriais da carne. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MEDICINA VETERINÁRIA, 2011^b.

ROÇA, R.O.; JACKSON, J.A., HOE, F.; STEGNER, J.; CARVALHO, F.S.R.; SILVA, C.R.; LOPEZ, E.; KING, V.; AMATAYAKUL-CHANTLER, S. Bopriva®: it's effect on meat and carcass quality in male cattle on pasture. In: International Congress on Meat Science and Technology, 57, 2011. Ghent: Bélgica. 2011^a.

ROMANS, J. R.; COSTELLO, W. J.; CARLSON, C. W.; GREASER, M. L.; JONES, K. W. The meat we eat. 14th ed. Interstate Publishers. Inc. Danville, Illinois, USA, 2001.

SAÑUDO, C., MACIE, E. S., VILLARROEL, J. L., OLLETA, M., PANEA, B. ALBERTI, P. The effects of slaughter weight, breed type and ageing time on beef meat quality using two different texture devices. *Meat Science*, v. 66, p. 925-935.

SCHEFFLER, T. L.; PARK, S.; GERRARD, D. E. Lessons to learn about postmortem metabolism using the AMPK γ 3R200Q mutation in the pig. *Meat Science*, v. 89, n. 3, p. 244-250, 2011

SCHIAFFINO, S.; REGGIANI, C. Fiber Types in Mammalian Skeletal Muscles. *Physiological Reviews*, v. 91, n. 4, p. 1447–1531, 2011.

SCOPES, R. K. Studies with a reconstituted muscle glycolytic system. The rate and extent of glycolysis in simulated post-mortem conditions. *Biochem. J.*, v. 142, p. 79-86, 1974.

SEIDEMAN, S. C.; CROSS, H.R.; OLTJEN, R.R.; SCHANBACHER, B.D. Utilization of the intact male for red meat production: A review. *Journal of Animal Science*, v.55, n.4, p.826-839. 1982.

SCHEFFLER, T. L.; LEITNER, M. B.; WRIGHT, A. Technical note: Protocol for electrophoretic separation of bovine myosin heavy chain isoforms and comparison to immunohistochemistry analysis. *J. Anim. Sci.*, v. 96, p. 4306–4312, 2018.

SHORTHOSE, W. R.; HARRIS, P. V. Effect of animal age on the tenderness of selected beef muscles. *Journal of Food Sciences*, v. 55, p. 1-8, 1990.

SITZ, B. M.; CALKINS, C. R.; FEUZ, D. M.; UMBERGER, W. J.; ESKRIDGE, K. M. Consumer sensory acceptance and value of domestic, Canadian, and Australian grass-fed beef steaks. *Journal of Animal Science*, v. 83, p. 2863-2868, 2005.

SUMAN, S. P.; JOSEPH, P. Myoglobin chemistry and meat color. *Annual review of food science and technology*, Palo Alto, CA, v. 4, p. 79–99, 2013.

TANG, J., FAUSTMAN, C., HOAGLAND, T.A., MANCINI, R.A., SEYFERT, M., HUNT, M.C. Post-mortem oxygen consumption by mitochondria and its effects on myoglobin form and stability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* v. 53, p. 1223-1230, 2005.

TARRANT. Animal Behaviour and Environment in the Dark-Cutting Condition in Beef - A

Review. **Irish Journal of Food Science and Technology**, v. 13, n. 1, p. 1–21, 1989.

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

TONIOLO, L. Expression of eight distinct MHC isoforms in bovine striated muscles: evidence for MHC-2B presence only in extraocular muscles. *J. Exp. Biol*, v. 208, p. 4243–4253, 2005.

WARNER, R. D. Chapter 14 - The eating quality of meat: IV—Water holding capacity and juiciness,
In Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Lawrie's Meat Science (Ninth Edition), p. 457-508, 2023.

WATSON, R.; GEE, A.; POLKINGHORNE, R. PORTE, M. Consumer assesment of eating quality – development of protocols for Meat Standards Australia (MSA) testing. *Aust. J. Exp. Agric. V.* 48, p. 1360-1367, 2008.

WHEELER, T. L.; KOOHMARAIE, M. The extent of proteolysis is independentof sarcomere length in lamb longissimus and psoas major. **Journal of AnimalScience**, Champaign, IL, v. 77, n. 9, p. 2444–2451, 1999.

WEGLARZ, A. Quality of beef from semi-intensively fattened heifers and bulls. *Animal Science Papers and Reports*, v. 28, p. 207-218, 2010.

WEISS, W. P., H.R. CONRAD, N.R. ST. PIERRE. A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. **Animal Feed Science and Technology**. 1992, v. 39, Issues 1–2, p. 95-110.

WICKS, J.; BELINE, M.; GÓMEZ, J. F. M.; LUZARDO, S.; SILVA, S. L.; GERRARD, D. Muscle Energy Metabolism, Growth, and Meat Quality in Beef Cattle. *Agriculture*, 9, 195, 2019.

WOOD, J., ENSER, M., FISHER, A., NUTE, G., RICHARDSON, R., & SHEARD, P. Meat quality: an integrated approach for the future. *Proceedings of the 15th International Pig Veterinary Society Congress*, v. 1, p. 103–113, 1998.

WOOD, J., ENSER, M., FISHER, A., NUTE, G., RICHARDSON, R., & SHEARD, P. Manipulating meat quality and composition. **Proceedings of the Nutrition Society**, 58(2), p. 363-370, 1999.

WORRELL, M. a.; CLANTON, D. C.; CLAKINS, C. Effect of Weight at Castration on Steer Performance on the Feedlot. **Journal of Animal Science**, Champaign, IL, v. 64, n. 2, p. 343–347, 1987.