UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

TAMYRES RODRIGUES DE AMORIM

**Efeito da taxa de crescimento nos períodos de pré-desmame, pós-desmame e engorda
sobre os atributos da carcaça e carne em sistemas de recria e engorda de bovinos Nelore**

PIRASSUNUNGA

2021

TAMYRES RODRIGUES DE AMORIM

Efeito da taxa de crescimento nos períodos de pré-desmame, pós-desmame e engorda sobre os atributos da carcaça e carne em sistemas de recria e engorda de bovinos Nelore

Versão Corrigida

Tese apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutorado em Ciências do programa de pós-graduação em Zootecnia.

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal

Orientadora: Profa. Dra. Angélica Simone Cravo Pereira

PIRASSUNUNGA

2021

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

R159e Rodrigues de Amorim, Tamyres
 Efeito da taxa de crescimento nos períodos de pré-
 desmame, pós-desmame e engorda sobre os atributos da
 carcaça e carne em sistemas de recria e ... / Tamyres
 Rodrigues de Amorim ; orientador Angélica Simone
 Cravo Pereira. -- Pirassununga, 2021.
 122 f.

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

 1. Bos indicus. 2. Crescimento muscular. 3.
 Perfil de ácidos graxos. I. Simone Cravo Pereira,
 Angélica , orient. II. Título.

CERTIFICADO

Certificamos que a proposta intitulada "Efeito da taxa de crescimento no período pré-desmame, recria e engorda sobre os atributos da carcaça e carne em sistemas de recria e engorda de bovinos Nelore", protocolada sob o CEUA nº 2884090518 (0000000), sob a responsabilidade de **Angélica Simone Cravo Pereira e equipe; Tamyres Rodrigues de Amorim** - 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 22/08/2018.

We certify that the proposal "Effect of pre-weaning, rearing and fattening growth rate on carcass and meat attributes in Nelore bovine rearing and fattening systems", utilizing 500 Bovines (500 males), protocol number CEUA 2884090518 (0000000), under the responsibility of **Angélica Simone Cravo Pereira and team; Tamyres Rodrigues de Amorim** - 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 08/22/2018.

Finalidade da Proposta: **Pesquisa (Acadêmica)**

Vigência da Proposta: de **05/2018** a **12/2018**

Área: **Zootecnia**

Origem: **Animais provenientes de estabelecimentos comerciais**

Espécie: **Bovinos**

sexo: **Machos**

idade: **22 a 24 meses**

N: **61**

Linhagem: **Nelore**

Peso: **500 a 520 kg**

Origem: **Animais provenientes de estabelecimentos comerciais**

Espécie: **Bovinos**

sexo: **Machos**

idade: **22 a 24 meses**

N: **439**

Linhagem: **Nelore**

Peso: **500 a 520 kg**

Local do experimento: As amostras de contra filé serão realizadas no laboratório de Ciência da Carne e no laboratório de Avaliação Animal e qualidade de carne

Pirassununga, 15 de agosto de 2020

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-Coordenadora da Comissão de Ética no Uso de Animais
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da
Universidade de São Paulo - FZEA/USP

TAMYRES RODRIGUES DE AMORIM

Efeito da taxa de crescimento nos períodos de pré-desmame, pós-desmame e engorda sobre os atributos da carcaça e carne em sistemas de recria e engorda de bovinos Nelore

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

Área de concentração: Qualidade e Produtividade Animal

Orientadora: Professora Doutora Angélica Simone Cravo Pereira

Data de Aprovação: 11/06/2021

Banca examinadora:

Profa Dra: Angélica Simone Cravo Pereira

Instituição: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos

Julgamento: _____

Pesquisador Dr.: Eduardo da Costa Eifert

Instituição: Embrapa Cerrados

Julgamento: _____

Pesquisador Dr.: Minos Esperandio Carvalho

Instituição: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos

Julgamento: _____

Pesquisador Dr.: Rafael Espigolan

Instituição: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos

Julgamento: _____

Pesquisador Dr.: Santiago Felipe Luzardo Villar

Instituição: Instituto Nacional Investigación Agropecuária

Julgamento: _____

DEDICATÓRIA

Essa tese é dedicada a Deus, à minha família
que me apoiou em todos os momentos e meus
poucos e verdadeiros amigos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, por tudo que têm me concedido até hoje, sou e serei sempre grata;

À milha família, pelo apoio incondicional, pois sem eles nada disso estaria acontecendo;

À minha orientadora profa. Dra. Angélica Simone Cravo Pereira pelos ensinamentos passados, a amizade, aos puxões de orelha quando merecido, e principalmente pela confiança ao meu trabalho, e por todos esses anos juntas;

Aos meus amigos e companheiros do Laboratório de Ciência da Carne (LCC) e Laboratório de Pesquisa em Gado de Corte (LPGC) por compartilhar muitos momentos de felicidade e de choro. Agradeço a todos os estagiários que passaram pelos laboratórios, cada um deixa sua marca por onde passa,

A pós-doutoranda, Dra. Mirele D. Poleti, por ceder um espacinho do Laboratório de Estudos Avançados em Ciência da Carne (LEACC), pela sua amizade e carinho, e nossas diversas madrugadas trabalhando juntas, o desenvolvimento de um protocolo difícilimo, e claro por contribuir no desenvolvimento deste trabalho.

As minhas amigas (os) e colegas de pós-graduação: Jéssica, Lenise, Ingrid, Mariana Berton, Rosiane Silva, Messy, Jéssica Campos, Maísa, Mariana Zanata, Letícia, Viviane, Pollyana, Adrielle, Taiane, Gabriella, Julian, Sabrina, amigas de Pitangueiras que são tantas e a turma dos dogs (que nos reuníamos sempre no final do dia), se faltou algum nome e tivemos contatos saiba que agradeço imensamente a convivência e amizade.

Ao professor, Dr. Fernando Baldi, pela oportunidade de me apresentar este trabalho, pela paciência e pelo aprimoramento profissional e pessoal.

Ao pesquisador Dr. Minos Esperandio Carvalho, obrigada pelo aceite de colaborar com suas sugestões e correções na defesa da tese, admiro muito seu trabalho!

Agradecimento ao Dr. Gustavo Brito, Diretor Regional do INIA - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária - Tacuarembó, e a Dra. Georgget Banchemo do INIA - La Estanzuela, por me receber e me proporcionar uma experiência pessoal e profissional na área, aos amigos de alojamento e funcionários, como a dona Maria e o Daniel. A minha amiga Laura e sua linda família, que foi minha segunda mãe tornando meus dias mais acolhedores com sua família, fazendo sua casa, minha segunda casa, e a todos os professores e funcionários lá presente que contribuíram pelo meu crescimento pessoal e profissional.

Ao pesquisador, Dr. Santiago Luzardo Villar, por me acolher e me ensinar muito no INIA e abrir as portas de sua casa em minha estadia no Uruguai, obrigada por aceitar a participar da banca.

Aos funcionários do Mafrig, que no dia do abate, tiveram paciência e nos ajudaram muito nas coletas.

Aos pesquisadores da Embrapa Cerrados, Dr. Eduardo da Costa Eifert e Marcos Fernando Oliveira e Costa, que nos acompanharam na semana de abate do experimento e desde então, mantivemos contato, trocando informações e nos auxiliando na condução do projeto.

Aos funcionários e ex-funcionários do LPGC, ao meu amigo Schmidt por ser amigo, atencioso e sempre estar disposto a ensinar e que me deu minha maior riqueza que é meu cachorro Bipolar.

As secretárias, Alessandra, Fabia, Maria Cecília e Érica, e também a técnica Simi pela paciência e serviços.

Ao Professor Ives, obrigada pela parceria e ceder um espacinho do Laboratório Fermentabilidade Ruminal para realização de algumas análises, à Priscila e aos colegas que estavam lá presentes.

A professora Dra. Mônica R. Mazzali e a técnica de laboratório Camila que me auxiliou na condução da extração de colesterol, parcerias sempre são bem-vindas para o enriquecimento do trabalho.

Aos funcionários e professores da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA) e à Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ).

A todas as bibliotecárias da FZEA que nos ajuda sempre para formatação dos trabalhos e em especial, à bibliotecária Vanessa Rodrigues, além de excelente profissional uma amiga antiga da minha família.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do projeto, no qual permitiu a condução das análises com sucesso.

Aos membros da banca por aceitar meu convite e poder contribuir cientificamente para esse trabalho ser enriquecedor.

A todos que não foram citados, mas contribuíram de alguma forma para a conclusão dessa etapa.

Muito Obrigada!!!

“Por mais longa que seja a caminhada, o mais importante é dar o primeiro passo.”
Vinícius de Moraes

RESUMO

AMORIM, T. R. **Efeito da taxa de crescimento nos períodos de pré-desmame, pós-desmame e engorda sobre os atributos da carcaça e carne em sistemas de recria e engorda de bovinos Nelore.** 2021. 122 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2021.

Objetivou-se avaliar as características de carcaça e carne de bovinos Nelore terminados em confinamento, submetidos a distintos ganhos de peso alto (H) e baixo (L) no período pré-desmame (PREW) e pós-desmame (PROW). Os animais foram separados em quatro tratamentos: PREW_H, PREW_L, PROW_H e PROW_L. Foram utilizados 283 bovinos machos, não castrados, inseridos no Programa da Associação Nacional de Criadores e Pesquisadores (ANCP). As comparações das taxas de ganhos foram realizadas com base em grupos de animais agrupados por ano de nascimento e época (seca ou chuvas) do ano, os quais foram manejados de forma similar dentro de um determinado rebanho, formando 20 grupos de contemporâneos do desmame ao sobreano, e em seguida criados na fase da cria e recria em sistema a pasto, suplementados com sal mineral e terminados em confinamento por 90 dias. Durante o confinamento, a relação volumoso:concentrado variou de 50:50 a 30:70, dependendo da fazenda. A dieta dos animais consistiu de silagem de milho integral ou de planta de sorgo, além de milho em grãos e / ou sorgo moído como concentrado energético e soja como concentrado proteico. O grupo de contemporâneos ao desmame foi composto por animais pertencentes à mesma fazenda, ano de nascimento, grupo de manejo ao pré-desmame e sexo, e o grupo de contemporâneo pós-desmame por animais pertencentes à mesma fazenda, ano de nascimento, grupo de manejo ao sobreano e sexo. Os animais foram classificados em: PREW_L e PREW_H, obtida pela diferença entre o peso ajustado aos 120 e 240 dias de idade e PROW_L e PROW_H, calculada pela diferença entre o peso ajustado aos 240 e 450 dias de idade. Para a análise da qualidade da carcaça e da carne, utilizou-se um total de 46 animais (PREW_L = 26, PREW_H = 20, PROW_L = 30 e PROW_H = 16) e peso vivo final de abate $580 \pm 65,17$ kg. Os animais foram selecionados considerando os valores extremos de desempenho dentro dos grupos a serem terminados em confinamento e posteriormente abatidos aos 24 meses de idade. No abate, foram avaliados o peso da carcaça quente (HCW), rendimento de carcaça quente (DP), e para a identificação do tipo de fibra muscular (MyHC) por SDS-PAGE foram coletadas amostras do músculo *Longissimus thoracis* (LT) e *Semitendinosus* (ST). Durante a desossa analisou-se o valor do pH 24 horas, área de olho de lombo (REA), espessura de gordura subcutânea (FT) e marmorização (MARM). Amostras do músculo LT entre as 12^a e 13^a costelas foram coletadas para análises da força de cisalhamento (WBSF), maturadas por sete dias a 0-2°C, perdas por cocção (CL), cor da carne, perfil de ácidos graxos (FA), lipídeos totais (LT), colesterol (Cho), comprimento de sarcômero (SL), colágeno total (TCol), colágeno solúvel (SCol) e colágeno insolúvel (ICol). Após as análises, constatou-se que a taxa de ganho de peso influenciou o HCW, FT e SL ($p < 0.05$). No entanto, não foram observadas diferenças para pH, REA, MARM, WBSF, cor da carne e LT ($p > 0.05$). A carne de animais PROW_H apresentou melhor porcentagem de alguns ácidos graxos considerados desejáveis à saúde humana ($p < 0.05$). Observamos poucos resultados para a interação da taxa de ganho de peso entre as fases PREW x PROW para o ácido vacênico (18:1 trans-11), EPA- Eicosapentaenoico, (22:5 n3), ácido graxo linolênico conjugado CLA e isômero CLA trans 10 cis 12. A taxa de ganho de peso não influenciou o Cho, tipo de fibras MyHC (I e II) e componentes do tecido conjuntivo (TCol,

ICol e SCol) ($p > 0.05$). No entanto, para o TCol foi encontrada correlação negativa com HCQ, CL, MyHC-I, e correlação positiva para MyHC-II. Os resultados desse estudo mostram que a utilização de critérios de seleção, como taxa de ganho de peso nas fases pré e pós-desmame, em bovinos Nelore, poderia ser uma alternativa na obtenção de bons índices de qualidade de carne e características de carcaça. Sendo assim, a taxa de ganho de peso para as características de carcaça melhoradas, como HCW, SL e alguns perfis de FA, sugerem que os animais PROW_H apresentaram carne favorável à saúde humana, com condições de atender a demanda do consumidor por produtos de alta qualidade e da indústria de carne bovina.

Palavras-chave: *Bos indicus*. Crescimento muscular. Perfil de ácidos graxos. Tipos de fibras.

ABSTRACT

AMORIM, T. R. **Effect of the growth rate in the pre-weaning, post-weaning and finishing periods on carcass traits and meat quality of Nellore cattle.** 2021. 122 f. Tese (P.H.D) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018.

The objective of this study was to evaluate the carcass, and meat traits of Nellore cattle finished in a feedlot, submitted to different high (H) and low (L) weight gains in the pre-weaning (PREW) and post-weaning (PROW) periods. The animals were separated into four treatments: PREW_H, PREW_L, PROW_H, and PROW_L. Data of 283 non-castrated males from the National Association of Breeders and Researchers Association (ANCP, Ribeirão Preto, Brazil) were used. Comparisons of weight gain rates were made based on groups of animals grouped by year of birth and season of the year, which were handled similarly within a given herd, forming 20 contemporary groups from weaning to yearling, and then reared at the stage of rearing and rearing in a pasture system, supplemented with mineral salt and finished in confinement for 90 days. During the feedlot period, the forage: concentrate ratio ranged from 50:50 to 30:70, depending on the farm. The animals' diet consisted of whole corn silage or sorghum plant, in addition to corn grain and/or ground sorghum as an energy concentrate and soy as a protein concentrate. The contemporary groups at weaning were composed of animals belonging to the same farm, year of birth, weaning management group, and sex. The post-weaning contemporary group was formed by animals belonging to the same farm, year of birth, group of yearling management, and sex. The animals were classified into PREW_L and PREW_H by the difference between the adjusted weight at 120 and 240 days of age and PROW_L and PROW_H, calculated by the difference between the adjusted weight at 240 and 450 days of age. For the analysis of carcass and meat quality, a total of 46 animals (PREW_L = 26, PREW_H = 20, PROW_L = 30, and PROW_H = 16) and final live weight 580 ± 65.17 kg were used. The animals were selected considering the extreme performance values within the groups to be finished in feedlot and subsequently slaughtered at 24 months of age. At the slaughterhouse, we measured the hot carcass weight (HCW), hot carcass yield (DP), and collected samples of the *Longissimus thoracis* (LT) and *Semitendinosus* (ST) muscle samples to identify the type of muscle fiber (MyHC) by SDS-PAGE. During deboning, the pH value was analyzed 24 hours, the rib eye area (REA), subcutaneous fat thickness (FT), and marbling (MARM). Samples of the LT muscle between the 12th and 13th ribs were collected for shear force analysis (WBSF), matured for seven days at 0-2° C, cooking losses (CL), meat color, fatty acid profile (FA), total lipids (LT), cholesterol (Cho), sarcomere length (SL), total collagen (TCol), soluble collagen (SCol) and insoluble collagen (ICol). After the analysis, it was found that the weight gain rate influenced HCW, FT, and SL ($p < 0.05$). However, no differences were observed for pH, OER, MARM, WBSF, meat color, and LT ($p > 0.05$). The meat of PROW_H animals showed a better percentage of some fatty acids considered desirable to human health, ($p < 0.05$). The statistical analyzes showed that there was an interaction of the weight gain rate between the PREW x PROW phases with the vaccenic acid (18: 1 trans-11), EPA-Eicosapentaenoic acid, (22: 5 n3), acid conjugated linolenic fat CLA and isomer CLA trans 10 cis 12. The rate of weight gain did not influence Cho, type of MyHC fibers (I and II), and connective tissue components (TCol, ICol, and SCol) ($p > 0.05$). However, for TCol a negative correlation was found with HCW, CL, MyHC-I, and a positive correlation for MyHC-II. The results of this study show that the use of selection criteria such as the rate of weight gain in the pre-and post-weaning phases in Nellore cattle could be an alternative to improve carcass and

meat quality traits. Thus, the rate of weight gain for improved carcass traits, such as HCW, SL and FA, suggests that PROW_H animals presented meat favorable to human health, able to meet consumer demand for high-quality products and the meat industry beef.

Key words: *Bos indicus*. Growth rate. Fatty acids profile. Fibers type.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Crescimento pós natal de osso ¹ , gordura ² , músculo ³ e maturidade ⁴	26
Figura 2 - Curva de crescimento animal em função da idade	28
Figura 3 - Desenho esquemático da seção longitudinal de um sarcômero em estado contraído, relaxado ou estendido.....	36
Figura 4 - Interaction of sarcomere length from low and high Nellore cattle gain in pre and post-weaning finished in feedlot (P= <.0001).....	91
Figura 5 - Electrophoresis profile of myosin heavy chain isoforms (MyHC) in Longissimus thoracis (LT) and Semitendinosus (ST) muscles of Nellore cattle.....	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Carcass traits of the Nelore bovine Longissimus muscle with high and low gain rate in the pre and post-weaning phase finished in feedlot.....	85
Tabela 2 – Fatty acids composition (% of total fatty acids) and lipids (mg/100g meat) from Low and High Nelore cattle rate gain in pre and post-weaning finished in feedlot	86
Tabela 3 – Sums and ratios of fatty acids and enzymatic activity from low and high Nelore cattle gain in pre and post-weaning finished in feedlot	88
Tabela 4 – Interaction of some fatty acids from low and high Nelore cattle gain in pre and post-weaning finished in feedlot	89
Tabela 5 – Analysis of variance for carcass and meat quality traits, muscle characteristics and fiber types from Nelore cattle with high and low gain rate in the pre and post-weaning phase.....	117
Tabela 6 – Identified myosin heavy chain isoforms from Longissimus thoracis (LT) and Semitendinosus (ST) muscles from Nelore cattle and rat Plantaris muscle.....	118
Tabela 7 – Correlation analysis (above diagonal) and p-values (below diagonal) between carcass and meat quality traits, collagen, cholesterol and fiber types of Nelore animals with high and low gain rate in pre and post weaning finished in feedlot.....	120

ÍNDICE DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a*	Componente vermelho-verde
AG	Ácidos graxos
AGPI	Ácidos graxos poli-insaturados
AGS	Ácidos graxos saturados
AGMI	Ácido graxo monoinsaturado
AMSA	American meat science association
ANCP	National Association of Breeders and Researchers
BCFA	Branched-chain fatty acids
b*	Componente amarelo-azul
BWf	Final Body Weight
bHLH	Transcrpcionais basic helix-loop-helix
CEUA	Ethics Committee on Animal Use
°C	Escala Celsius
cm ²	Square centimeter
CLA	Ácido graxo linolênico conjugado
CL	Cooking losses
Cho	Cholesterol
CGW	Contemporary animals at weaning
CGY	Contemporary animals at yearling
DP	Dressing percentage
EPA	Eicosapentaenoic fatty acid
FA	Fatty acid profile
FT	Fat thickness
GP	Ganho de peso
G	Gramer
H	High
h	Hour

HCW Hot carcass weight
 HHS Department of Health and Human Services
 ICol Insoluble collagen
 IMF Intramuscular fat
 IS Health Index
 IA Altherogenic Index
 IT Thrombogenicity index
 Kg Kilogram
 L * Luminosidade
 L Low
 LT Total lipids
 LDL Low density lipoprotein
 MARB Marbling
 Mg Miligramer
 Mm Millimeter
 min Minutes
 m-RNA Ácido ribonucleico mensageiro
 MRF4 Myogenic factor 6
 MRFs Myogenic regulatory factors
 MyoD Myoblast determination protein 1
 Myf5 Myogenic factor 5
 MyHC Isoformas de miosina de cadeia pesada
 MyHC-I Fibras do tipo I
 MyHC IIa Fibras do tipo IIA
 MyHC IIb Fibras do tipo IIB
 MyHC IId. Fibras do tipo IID
 MUFA Monounsaturated fatty acids
 N Newton
 N Nellore bulls

n3 $\hat{\Omega}$ mega 3

PREW Pre- weaning phase

PROW Post-weaning phase

PREW_L Pre- weaning low weight gain rate

PREW_H Pre-weaning high weight gain rate

PROW_L Post-weaning low weight gain rate

PROW_H Post-weaning high weight gain rate

REA Ribeye area

RIISPOA Regulation of Industrial and Sanitary Inspection of Products of Animal Origin

SAS Statistical analysis system

SFA Saturated fatty acids

SL Sarcomere length

SCol Soluble collagen

SIF 1646 Federal Inspected commercial slaughterhouse

SDS-PAGE Polyacrylamide gel electrophoresis

PUFA Polyunsaturated fatty acids

TCol Total collagen

WBSF Warner Bratzler Shear Force

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	19
INTRODUÇÃO GERAL	20
REVISÃO DE LITERATURA	23
Taxa de ganho de peso na produção de gado de corte	23
Influência da taxa de crescimento de bovinos em características de carcaça	25
Influência da taxa de crescimento sobre as características de qualidade de carne	29
Fibras musculares	31
Comprimento de sarcômero.....	35
Colágeno	37
Colesterol	39
Lipídeos totais e perfil de ácidos graxos	41
REFERÊNCIAS.....	44
CAPÍTULO II	55
HIGHLIGHTS	59
ABSTRACT	60
INTRODUCTION.....	61
MATERIAL AND METHODS	62
Animals and management.....	62
Slaughter, deboning, and sampling	63
Carcass traits	64
Meat qualitative measurements	64
<i>Meat Color</i>	<i>64</i>
<i>Warner Bratzler Shear Force (WBSF) and Cooking Losses (CL)</i>	<i>65</i>
<i>Sarcomere length (SL).....</i>	<i>65</i>
<i>Total lipids (TL) and fatty composition (FA)</i>	<i>66</i>
Statistical analysis	67
RESULTS AND DISCUSSION.....	68
Carcass traits	68
Meat quality	70
Fatty acids.....	71
CONCLUSION.....	76
Acknowledgements	76
Declaration of interest.....	76

Ethics statement	76
REFERENCES	78
CAPÍTULO III	91
ABSTRACT	93
Implications	94
Introduction	94
Material and methods.....	96
Animals and management.....	96
Muscle sampling and carcass measurements	97
Meat quality attributes analysis	98
Intramuscular connective tissue.....	99
Determination of cholesterol content in the muscle	100
Analysis of the myosin heavy chain (MyHC) isoforms by SDS-PAGE electrophoresis	101
Identification of the MyHC isoforms by LC-MS/MS analysis	102
Statistical analyses.....	103
Results	103
Effect of gain rate in the pre-and post-weaning phases in the carcass, meat quality traits, and muscle traits	103
Weight gain rate effect in the pre-and post-weaning phases over the muscle fiber types.....	104
Overall relationships among meat quality attributes	104
Discussion	104
Conclusion	107
Acknowledgements	108
Declaration of interest.....	108
Ethics statement	108
References	109
Considerações Finais	121
Implicações	122

CAPÍTULO I

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

INTRODUÇÃO GERAL

A produção de carne no Brasil consiste principalmente em sistemas extensivos, nos quais os animais se alimentam de pastagens nativas, com pouca ou nenhuma suplementação. Neste sentido, as oscilações na disponibilidade de nutrientes, em função da variação estacional e na produção das forrageiras impactam de forma direta o sistema de produção de bovinos (FERRAZ; FELÍCIO, 2010). Portanto, o manejo ao longo da vida do animal reflete diretamente na curva de crescimento dos bovinos, com variações na taxa de crescimento dos tecidos dos animais, influenciando significativamente a taxa de ganho de peso ou o desempenho do animal (MARQUES et al., 2012). Desse modo, as pesquisas relacionadas ao crescimento animal apresentam elevado impacto referente ao conhecimento prático, sendo fundamental para a pecuária de corte, visto que, mudanças práticas, como animais mais pesados ao abate, maior ganho de massa muscular e ganhos na qualidade de carne resultarão diretamente no aumento da produção de carne (SANTANA et al., 2013, DODSON et al., 2015).

O ganho de peso é amplamente utilizado como critério de seleção em programas de pecuária de corte, principalmente por ser uma medida objetiva, além de ter herdabilidade alta e ser relativamente bem correlacionado com características de carcaça e produção (ELER et al., 2014, KLUSKA et al., 2018, SILVA et al., 2021).

Os critérios de seleção de bovinos de corte se baseiam em sua maior parte em características de crescimento de fácil avaliação, como o peso em diferentes idades ou no ganho de peso. Atualmente, com a busca por novas características de interesse econômico que visam melhor qualidade de carne, as características, como área de olho do lombo e associadas à composição da carne, como perfil de ácidos graxos, estão sendo incluídas em programas de melhoramento genético. Nesse sentido, a utilização de características, como diferentes taxas de crescimento se mostram uma alternativa mais econômica para a avaliação de atributos de carcaça, quando comparadas a outras tecnologias, como a ultrassonografia de carcaça, para predizer características de qualidade de carne.

As medidas de taxa de ganho de peso para bovinos de corte são baseadas no peso ao desmame, peso ao sobreano, ganho pré-desmame e ganho pós-desmame (MATTAR et al., 2011). O cálculo das taxas de ganhos de peso auxilia no processo de seleção dos animais, visto que essas taxas podem ser utilizadas como substitutas ou em conjunto com as medidas de peso, visando a seleção de animais mais precoces, e além disso, as taxas de ganho de peso também demonstram o potencial de velocidade de ganho em peso e crescimento. Desta forma, animais

que apresentam crescimento rápido necessitam de menos dias para atingirem o peso ideal para o abate, sendo considerados mais eficientes, possibilitando assim reduzir a duração dos ciclos de produção. Porém, deve-se estar atento ao fazer a seleção para características de crescimento, pois as mesmas podem afetar na maturidade corporal, aumentando a exigência de manutenção e atingindo a puberdade mais tarde ao longo da vida do animal, sendo indesejável para a maioria dos sistemas de produção (OWENS et al., 1993). Além disso, o crescimento muscular altera as características de tamanho e porcentagens de fibras musculares (GREENWOOD; HARDEN; HOPINKS, 2007), apresentando maior peso vivo final, maior peso de carcaça e maior área de olho de lombo (ALTARRIBA et al., 2005), podendo assim comprometer a taxa e a composição do colágeno, no qual o crescimento mais rápido pode aumentar a quantidade de colágeno solúvel e a maciez (PURSLOW; ARCHILE-CONTRERAS; CHA, 2012).

Sendo assim, a indústria frigorífica vem requerendo animais que atendam às exigências do mercado consumidor, em qualidade de carcaça e carne, como a classificação e tipificação da carcaça, maior rendimento de cortes comerciais e qualidade de carne, envolvendo fatores como, cor, pH, espessura de gordura subcutânea e marmorização (FARIA et al., 2008).

Desta forma, a utilização da taxa de ganho de peso como critério de seleção de animais pode ser um fator chave na determinação do momento exato de entrada do animal no confinamento, e consequentemente no abate. Visto que o crescimento do animal pode ser influenciado por vários fatores que interferem a taxa de ganho de peso, como genética, fatores hormonais, metabolismo, bem-estar e a nutrição (BERG; BUTTERFIELD, 1976).

Com as mudanças na economia mundial, a intensificação da produção pecuária no Brasil e o apelo público de órgãos e entidades internacionais, fizeram com que ocorressem transformações significativas nos hábitos e preferências dos consumidores, os quais agora buscam por alimentos cada vez mais saudáveis e sustentáveis. Isso mostra que técnicos, criadores e indústria devem estar atentos às demandas de seus consumidores, buscando soluções técnicas e práticas para a produção de alimentos mais saudáveis, especialmente no setor da carne, o qual ainda possui o estigma de ser associado diretamente a doenças cardiovasculares (WOOD et al., 2004).

Dessa forma, é fundamental caracterizar as diferenças entre as taxas de ganhos nas fases pré e pós-desmame e seu impacto nas características de carcaça e qualidade de carne de bovinos, pois dessa forma será possível a identificação de animais mais eficientes, visando melhor rendimento ao produtor e um produto de qualidade diferenciada e desejável para o consumidor. Portanto, objetivou-se avaliar o efeito das taxas de ganho nas fases de pré e pós-desmame sobre as características de carcaça e qualidade da carne em bovinos da raça Nelore,

criados em sistema a pasto e terminados em confinamento.

REVISÃO DE LITERATURA

Taxa de ganho de peso na produção de gado de corte

A pecuária de corte no Brasil consiste, em sua maior parte extensiva, cujo manejo adotado é por oferta de forragem e relação de ganho de peso animal por área (ROZALINO SANTOS et al., 2009). A qualidade nutricional das forragens tropicais no Brasil oscila durante o ano devido à sazonalidade, segundo Almeida et al. (2010) este fenômeno interfere de forma quantitativa e/ou qualitativa na forragem, isto é, existe uma alta e baixa na qualidade e na produção dessas durante o ano, podendo afetar de forma direta as características da carne. Esse fenômeno também afeta a idade ao abate dos animais, podendo comprometer seu desenvolvimento, principalmente nas fases de recria e terminação (ALENCAR et al., 2008). Segundo Valadares Filho et al. (2016), em consequência do regime alimentar tradicional, os animais alternam períodos da perda de peso durante a estação seca e período de recuperação do ganho de peso durante a estação chuvosa. Tal realidade gera variações na oferta de bois gordos entre a safra e a entressafra.

O objetivo produtivo de uma fazenda de bovinos de corte é produzir a maior quantidade de carne (kg) por unidade de área, ao menor custo possível. Propriedades de ciclo completo, ou seja, de cria, recria e engorda, têm objetivos distintos para cada etapa (BRISOLARA, 2008). Na fase de cria, busca-se obter o maior número de bezerros por vaca acasalada (taxa de natalidade) e o maior peso a desmama possível. A cria é a fase mais importante da pecuária de corte, por ser responsável pela produção de bezerros, fundamental para o desenvolvimento das fases subsequentes (GREENWOOD; CAFÉ, 2007). Já a fase da recria abrange o período entre o desmame e o início da engorda nos machos, sendo responsável pelo pico de deposição de proteína e continuação do crescimento muscular. Por fim, a terminação, nesse período o objetivo é a engorda do animal, visando à deposição de gordura na carcaça e o acabamento adequado dos bovinos para o abate (PAULINO; DUARTE, 2014). Quando bem manejada a fase de cria, a fase da recria é diminuída, possibilitando que os novilhos sejam preparados para entrar na fase final de engorda mais rapidamente. Quanto mais rápido é esse ciclo, maior é o giro na fazenda e menor é o custo fixo por animal comercializado.

Assim, o ganho de peso dos animais reflete o próprio potencial de crescimento determinado pela genética em um sistema de produção, sendo influenciado pela quantidade e qualidade de pasto, produção de leite das vacas, raça, sexo, idade ao desmame, manejo e o tipo de suplemento durante a vida do animal (BRITO et al., 2020; CÔNSOLO et al., 2020). Logo, a avaliação genética, dessa característica é normalmente avaliada por períodos, como ganho pré

e pós-desmama (BRITO et al., 2020;).

A fase de crescimento que antecede o desmame em gado de corte é considerada muito importante, em virtude das mais altas taxas de crescimento de toda a vida do animal. Desse modo, o ganho de peso nesta fase sofre influência de vários fatores considerados importantes, destacando-se habilidade materna, grupo genético, sexo, mês e ano de nascimento, idade da vaca e idade do bezerro (DE PAZ; DE ALBUQUERQUE; FRIES, 1999). Paneto et al. (2002) avaliaram dados de ganho de peso (GP) da raça Nelore dos 120 aos 550 dias de idade, a característica de GP₁₂₀₋₂₄₀ apresentou coeficiente de herdabilidade (0,32) e herdabilidade materna (0,13), mostrando a influência do efeito genético materno nessa fase, sugerindo assim a possibilidade de sua utilização como critério de seleção. Portanto, eleger características de importância econômica em um sistema de criação são requisitos fundamentais para o sucesso do programa de melhoramento genético e do sistema de produção em bovinos de corte.

O critério de seleção para ganho de peso considera o crescimento muscular mais elevado e conseqüentemente, estes animais apresentarão maior peso corporal em todas as idades e provável tamanho adulto elevado (YOKOO et al., 2009). Sendo assim, para alcançar o desempenho ideal deve ser levado em consideração: a expressão genética, os efeitos ambientais e a interação genótipo-ambiental (RAUW; GOMEZ-RAYA, 2015).

No entanto, a seleção de animais utilizando critérios de ganho de peso diário pode levar a um sistema de produção de animais mais tardios, pois, animais de maior exigência para manutenção demorariam mais tempo para expressar o potencial máximo de ganho, podendo impactar negativamente na cadeia produtiva (VAN MELIS; RIBEIRO 2006). Segundo Gerrard e Grant (2006a), animais com diferentes taxas de crescimento chegam à maturidade em idades diferentes e, quando avaliados em uma mesma idade cronológica, podem apresentar diferentes proporções de tecidos depositados.

Existem evidências de que características sensoriais, como a maciez diminui com o avanço da idade do animal (LAWRIE, 2005). Esse efeito ocorre, pois, a maturidade é um fator que afeta a composição da carcaça devido as diferentes partes e tecidos do corpo que apresentam diferenças nas taxas de crescimento (LAWRIE, 2005). Sendo assim, a idade tem forte influência na qualidade da carne, pois determina o grau de acabamento da carcaça, o escore de marmorização da carne e o grau de solubilidade de proteínas, como o colágeno. Conseqüentemente, com o aumento da idade dos animais, a carne se torna mais dura, pois a solubilidade do colágeno diminui, devido ao aumento da concentração das ligações cruzadas entre as moléculas do colágeno (KOOHMARAIE; WHEELER; SHACKELFORD, 1994). Por outro lado, com o avançar da idade, o animal vai acumulando mais gordura de acabamento e

intramuscular, as quais são características favoráveis tanto para a indústria quanto para o consumidor. Costa et al. (2002) mostraram em seu estudo com 24 novilhos Red Angus, abatidos aos 12, 13, 14 e 15 meses, com pesos de abate de 340kg, 373kg, 400kg e 433kg, respectivamente, que o incremento no peso de abate causou um aumento linear no percentual de gordura na carcaça, e os animais abatidos com idade de 12 a 15 meses produziram carne macia a muito macia.

Sendo assim, animais com acabamento mais tardio podem ser mais interessantes do ponto de vista econômico, pois atingem maior peso de carcaça, devendo levar-se em conta o plano nutricional e a maior exigência dos mesmos (BULTOT et al., 2002). Por outro lado, animais terminados precocemente com peso mais leve e maior quantidade de gordura na carcaça, podem ser mais viáveis, principalmente do ponto de vista do consumo de alimento que é menor (SANTOS, 1999). Carwright (1970) e Fitzhugh (1976) consideraram que a seleção para animais pesados à idade jovem refletiu em animais, na maioria, de maior peso adulto, considerando outras condições fenotípicas adequadas. Segundo os autores, quando uma função biológica, por meio de um processo de maximização, desequilibra com o suporte alimentar, há necessidade de se redimensionar o processo para otimizar o crescimento dos animais. Nesse sentido, a aplicação da ferramenta de critério de seleção de ganho de peso pode ser uma alternativa viável, visando o benefício econômico da propriedade, desde que se mantenham as condições genotípicas e fenotípicas adequadas, para que os animais possam expressar o máximo potencial de produção.

Influência da taxa de crescimento de bovinos em características de carcaça

O crescimento é um processo fisiológico que inicia a partir do período pré-natal e termina quando o organismo atinge o peso adulto e a conformação característica de cada espécie (SANDLAND et al., 1983). O grau de desenvolvimento das dimensões atingido é próprio de cada espécie e, dentro de cada espécie, ou seja, se diferenciam pela raça. Na pecuária, o termo de crescimento é utilizado para referenciar o período em que o animal aumenta de tamanho e ganha peso (SANDLAND et al., 1983; AGUDELO-GOMEZ; MUÑOZ; RESTREPO, 2007).

Biologicamente, o crescimento do animal é uma medida quantitativa do aumento de massa corporal, que depende da hiperplasia, hipertrofia e diferenciação das células, dando origem a tecidos de diferentes estruturas e funções (PAULINO; RUAS, 1988). O maior interesse no estudo de animais produtores de carne está centrado no crescimento dos tecidos muscular, adiposo e ósseo. Os tecidos do corpo do animal desenvolvem-se de forma

diferenciada; ossos e órgãos vitais apresentam desenvolvimento precoce; músculos, intermediário; e tecido adiposo, tardio. Durante o crescimento e a engorda dos animais, as diferentes taxas de síntese dos tecidos alteram a composição física e química da carcaça (BERG ; BUTTERFIELD, 1976). Segundo Berg e Butterfield (1976), os animais apresentam duas vezes mais músculos que ossos ao nascimento e a velocidade de crescimento do tecido muscular também é maior que a dos ossos no período pós-natal, resultando em uma maior proporção músculo/osso, isso ocorre quando o animal alcança a maturidade, período em que o crescimento do tecido muscular desacelera. Alguns fatores que podem influenciar o crescimento do tecido muscular e a qualidade de carne são: manejo nutricional, ambiência, definição de idade ao abate, além da adoção de alguns critérios de seleção em programas de melhoramento genético (BERG; BUTTERFIELD, 1976; CÔNSOLO et al., 2020; GOLDBERG; RAVAGNOLO, 2015; PARDO et al., 2020; WALFORD, 1946; YIN; KÖNIG, 2020).

Sendo assim, o crescimento muscular é considerado um dos efeitos biológicos mais importantes na produção animal, pois envolve as interações entre fatores hormonais, ambientais, nutricionais, genéticos, de metabolismo e capacidade funcional de vários órgãos e tecidos do animal, desde a concepção à maturidade (RAUW; GOMEZ-RAYA, 2015). Desse modo, durante o desenvolvimento animal ocorrem mudanças na composição da carcaça quanto à quantidade de músculo, gordura e ossos (GERRARD; GRANT, 2006a). O crescimento do músculo, osso e gordura ao longo do tempo, pode ser observado na Figura 1, no qual a curva para o músculo e gordura apresenta característica sigmoide, o crescimento do osso é mais difícil de visualizar porque muda relativamente pouco perante outros tecidos da carcaça.

Figura 1 - Crescimento pós-natal de osso¹, gordura², músculo³ e maturidade⁴

Fonte: Adaptado de Gerrard e Grant (2006b).

O sistema esquelético deve ser suficientemente desenvolvido durante o nascimento para acomodar o peso do animal. Após o desenvolvimento do sistema esquelético, o crescimento posterior do esqueleto é mínimo, em contraste, o crescimento muscular aumenta drasticamente e rapidamente torna-se componente da carcaça. O tecido adiposo é depositado por último e atua como indicador da maturidade fisiológica do animal. A maturidade é o momento em que a massa muscular atinge o ponto máximo em que o ganho de peso é composto apenas de gordura (OWENS et al., 1995).

A taxa de desenvolvimento do tecido adiposo e sua distribuição no corpo influenciam muito o valor da carcaça. O tecido adiposo é o mais variável no corpo do animal e o excesso de gordura é fator importante que pode contribuir para redução do rendimento de carcaça (BERG; BUTTERFIELD, 1976). De acordo com Berg e Butterfield (1976), a proporção dos tecidos na carcaça no momento do abate é o aspecto da composição do animal de maior importância, por determinar grande parte de seu valor econômico e influenciar a eficiência e o custo de produção da carne. Portanto, uma carcaça é considerada superior quando apresenta quantidade máxima de musculatura, mínima de ossos e adequada de gordura, variando segundo os desejos do consumidor (SANTOS-SILVA; MENDES; BESSA, 2002).

Em circunstâncias normais, o crescimento de um bezerro sadio e alimentado adequadamente faz com que os valores de seu ganho de peso vivo em função do tempo apresentem uma curva sigmoide, caracterizada por uma fase de crescimento acelerado, coincidindo com o período que precede a puberdade a uma fase de crescimento lento (SANTOS et al., 2002). Durante a fase de rápido desenvolvimento corporal, a proporção de ossos na carcaça diminui lenta e gradualmente, enquanto a proporção de músculo e a relação músculo:osso aumentam. Com o início da puberdade, o ritmo de crescimento do tecido muscular diminui e a taxa de deposição de tecido adiposo aumenta (BERG; BUTTERFIELD, 1976; OWENS; DUBESKI; HANSON, 1993).

Além da velocidade de crescimento dos tecidos, entender a velocidade com que o bovino atinge a maturidade sexual (puberdade) apresentada nas três principais classes de tamanho corporal (grande, média e pequena) é de suma importância, visto que o crescimento inicia por ocasião da concepção e termina com a maturidade do animal (Figura 2).

Figura 2 - Curva de crescimento animal em função da idade

Fonte: Adaptado de Owens, Dubeski e Hanson (1993).

A precocidade de terminação do animal está diretamente relacionada a idade ou rapidez com que o bovino atinge a puberdade, ou seja, animais que atingem a composição corporal da carcaça adequada para o abate. Sendo assim, o peso acumulado do animal em relação a sua idade segue uma curva sigmoide; esta curva é composta por uma fase pré-puberdade de auto aceleração e de outra pós-puberdade de desaceleração (BERG; BUTTERFIELD, 1976). A disponibilidade adequada de nutrientes às exigências do animal durante estas fases constitui-se num dos maiores desafios para os sistemas de produção de bovinos de corte.

Segundo Owens, Dubeski e Hanson (1993), o crescimento muscular 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”, que consiste na síntese de proteína e diminuição da degradação da proteína (KOOHMARAIE et al., 2002). Por essa razão, o abate de animais precoce é uma estratégia interessante, que visa explorar ao máximo a eficácia na deposição de massa muscular que ocorre durante o crescimento dos animais. Brody (1945) relatou que animais mais jovens depositam mais músculo (proteína e água) do que gordura, enquanto animais mais pesados, geralmente após a puberdade, retêm maiores quantidades de gordura que músculo. O National Research Council – NRC (1984) retrata que a biologia básica para o crescimento de bovinos de corte é semelhante. No entanto, existem algumas diferenças na maturidade (relacionado a curva de crescimento médio dos animais) e na taxa de crescimento, o que gera acentuada influência na aplicação das práticas de manejo. Nesse sentido, o conhecimento do comportamento do crescimento muscular é importante, pois o grau

de deposição do tecido adiposo e proteico influencia o rendimento de carcaça (KEADY et al., 2017; MOLONEY; MCGEE, 2017; OWENS et al., 1995).

Silva et al. (2017) observaram que bovinos Nelore com baixo ganho de peso na fase pós-desmame, terminados em confinamento apresentaram valores menores no rendimento de carcaça comparados aos animais com alto ganho de peso na mesma fase. Segundo Hornick et al. (1998), a eficiência na deposição de energia via alimentar aumenta a deposição de proteína, permitindo um crescimento mais rápido de tecido muscular. Este comportamento também foi encontrado por Costa et al. (2015) e Lancaster, Krehbiel e Horn (2014), os quais observaram que bovinos com baixo ganho na fase pós-desmame tiveram menor rendimento de carcaça e peso de carcaça quente. Nesses estudos, a taxa de crescimento sobre as características de carcaça resultou numa forma positiva de seleção, visando aumento de peso de carcaça, resultando em retorno econômico ao pecuarista, bem como benefício para todo o setor.

Ao considerar os estudos mencionados acima, conclui-se que animais com alta taxa de crescimento atingem a maturidade mais rapidamente do que animais com baixa taxa de crescimento. Animais com maturidade tardia são mais magros, enquanto animais com maturidade precoce apresentam mais gordura e se encontram mais avançados na curva de crescimento (GERRARD; GRANT, 2006b). Em termos práticos, o conhecimento em relação ao crescimento muscular nas fases pré e pós-desmame permite selecionar animais jovens que apresentem melhor conversão alimentar (kg de MS/kg de ganho), ou seja, melhor eficiência alimentar, refletindo assim positivamente na rentabilidade dos sistemas de produção que envolvem cria e recria de bovinos.

Influência da taxa de crescimento sobre as características de qualidade de carne

A carne é a mais importante fonte de proteína animal para a dieta humana (MEDEIROS, 2008). Do ponto de vista do consumidor, a qualidade da carne está associada diretamente as características de aparência e palatabilidade, como: cor, maciez, sabor e suculência. Cada um desses critérios é dependente de fatores, como a idade do animal, genética, condição sexual, estado fisiológico do animal vivo, bioquímica *post mortem* do músculo, quantidade e composição da gordura (SAÑUDO et al., 2000).

O crescimento do animal apresenta relação direta com a quantidade e a qualidade da carne. Neste sentido, Silva et al. (2017) observaram efeito da taxa de crescimento de bovinos Nelore para sistemas de baixo, médio e alto ganho de peso sobre a cor da carne, e observaram que os cromas, a^* e b^* foram maiores para animais de alto ganho de peso. Anteriormente, Purchas; Burnham e Morris (2002) encontraram resultados com valores maiores do componente

b * para bovinos de alto ganho. Em relação à maciez da carne, Joo et al. (2013) relataram que a quantidade e solubilidade do tecido conjuntivo, composição e propriedade contrátil de fibras musculares afetam diretamente as características da massa muscular e qualidade de carne. A quantidade de tecido conjuntivo está relacionada com características das fibras musculares por ocuparem 75 a 90% do volume muscular e também pela sua morfologia ser o principal determinante da massa muscular (LEE et al., 2010).

A gordura tem papel importante na maciez da carne. Em avaliações sensoriais, ao avaliar a suculência de uma carne, observa-se duas fases: i) a primeira é a liberação rápida dos fluídos, a qual dá à impressão de umidade durante as primeiras mastigadas; ii) a segunda fase é dependente da gordura, que estimula a salivação, sustentando a suculência da carne (LAWRIE, 2005). Baseado nessas informações nota-se a importância da gordura intramuscular como componente qualitativo da maciez sensorial, que vai muito além da maciez objetiva detectada através de análises laboratoriais. Sendo assim, o efeito da gordura intramuscular na maciez pode ser devido à diminuição da densidade da carne, com uma menor tensão entre as camadas de tecido conjuntivo, fazendo com que haja uma maior maciez da carne devido a presença de lipídios (ALVES et al., 2006; CALKINS et al., 1981). Além de outros fatores, sabe-se que o sabor da carne depende, em sua maior parte da quantidade de lipídeos presente dentro delas. As fibras Tipo I apresentam maiores quantidades de fosfolipídios do que fibras do Tipo II. Além disso, fibras do Tipo I contêm reservas de lipídios intracelular na forma de gotas, e que são raramente observadas em fibras do Tipo II (JOO et al., 2013; KIM et al., 2013). A quantidade de gordura intramuscular pode influenciar diretamente a qualidade de carne e ser correlacionada com a área da fibra muscular (CHOI; KIM, 2009). A percentagem de fibras do Tipo I é positivamente correlacionada com a gordura intramuscular em bovinos (CALKINS et al. 1981) e a maior quantidade desse tipo de fibra contribui para maior suculência e sabor, enquanto a alta concentração de fibras do Tipo IIB tende a ser associada com a carne dura (CHOI; KIM, 2009). Hwang et al. (2010) também encontraram correlação positiva entre a gordura intramuscular e as fibras musculares vermelhas e correlação negativa com as fibras musculares brancas de bovinos.

Entre os atributos do tecido conjuntivo na maciez, destaca-se quantidade de colágeno presente nesse tecido, proteína que compreende 5% das proteínas musculares (POWELL; HUNT; DIKEMAN, 2000). O colágeno é de natureza resistente, devido sua função de conexão entre músculos e ossos, o mesmo possui importância intrínseca, pois quanto mais resistente e em maior quantidade, maior dureza terá a carne. As ligações cruzadas presentes no colágeno diferenciam-se entre os músculos e estão relacionadas com as variações de maciez existente

entre os diferentes tipos de músculos (YAN et al., 2013). As ligações cruzadas do colágeno, seja elas intra ou intermoleculares, são fundamentais para a manutenção da resistência muscular. Com o avanço na idade, há formação de ligações cruzadas intra e intermoleculares na estrutura do colágeno aumenta, as quais dificultam a desnaturação pela digestão enzimática e/ou tratamentos térmicos (SAINZ; ARAUJO, 2001). Conforme a revisão realizada por Lepetit (2008), a força de cisalhamento da carne é altamente correlacionada com o teor de colágeno presente na carne bovina ($r^2 = 0,81$), sendo importante para a determinação da maciez da carne. Outro fator importante é a solubilidade do colágeno presente e o número de ligações, por volume de carne. Por fim, Silva et al. (2017) relataram que a taxa de crescimento animal também pode afetar o colágeno, no qual o crescimento mais rápido pode aumentar a quantidade de colágeno solúvel e a maciez. No entanto, os autores não relataram diferença entre o teor de colágeno intramuscular no final do crescimento pós-desmame ou na fase de terminação em novilhos Nelore, com três tratamentos diferentes: baixo, médio e alto taxas de ganho com 0,0, 0,6 e 1,2 kg durante as fases. Desta forma, a estruturação do colágeno e não apenas o seu conteúdo total pode explicar as diferenças na maciez entre os mesmos músculos de animais de mesma idade, porém criados em diferentes sistemas de produção.

Fibras musculares

Durante o desenvolvimento embrionário, o comprometimento das células somáticas do mesoderma com a linhagem miogênica depende inicialmente de sinais positivos [Wnts, Sonic hedgehog (Shh), Noggin] ou negativos (BMP4) oriundos de tecidos circundantes, tais como a notocorda e o tubo neural (CHARGÉ; RUDNICKI, 2004). Esses sinais ativam os genes capazes de transformar células não musculares em células com um fenótipo muscular (SILVA; CARVALHO, 2007). Os genes responsáveis por essa transformação são os transcricionais basic helix-loop-helix (*bHLH*), da qual fazem parte a MyoD, Miogenina, Myf5 e o MRF4; coletivamente chamados de fatores de regulação miogênica (myogenic regulatory factors ou MRFs) (MURRE et al. 1989; SILVA; CARVALHO, 2007). As expressões MRFs Myf5 e MyoD ocorrem na diferenciação do músculo esquelético, Myf5 e/ou MyoD, denominadas de mioblastos (MEGENEY; RUDNICKI 1995).

Os mioblastos que saem do ciclo celular, que expressam Myf5 e MyoD, tornam-se miócitos diferenciados e iniciam a expressão dos MRFs miogenina e MRF4, os quais regulam a diferenciação dessas células em fibras musculares (MEGENEY; RUDNICKI 1995). Portanto, no processo de miogênese, os miócitos mononucleados se fundem para formar os miotubos e,

no animal adulto, o músculo esquelético torna-se um tecido estável, caracterizado por fibras musculares multinucleadas (SCHMALBRUCH; LEWIS, 2000). Desse modo, a formação dos músculos ocorre pela formação dos mioblastos, os primários e os secundários (HAUSCHKA, 1994). Stockdale (1992) ressaltou que há uma diferença na expressão das isoformas de cadeia pesada de miosina entre os mioblastos primários e secundários, sugerindo que os mioblastos primários são destinados a originar fibras lentas, enquanto os secundários fibras rápidas. A formação dos miotubos ocorrem a partir dos mioblastos, primeiramente, ocorre a formação dos miotubos primários, os quais apresentam núcleos localizados na região central e miofibrilas, na região periférica do sarcoplasma (KELLY; ZACKS, 1969; ONTELL; KOZEKA, 1984). Posteriormente, ocorre a separação dos miotubos primários e secundários, e a diferenciação em fibras primárias e secundárias; os núcleos migram para a região periférica e as miofibrilas passam a ocupar todo o sarcoplasma (ONTELL; KOZEKA, 1984).

Os miotubos, por sua vez, passam por um processo chamado de modulação, quando a síntese de proteína miofibrilar é acelerada, originando as fibras musculares, também chamadas de fibras primárias (HOPKINS; TAYLOR, 2004). As fibras primárias são utilizadas como suporte para posterior formação das fibras secundárias, que ocorre entre o segundo e oitavo mês de gestação e contribuem de forma majoritária para o aumento da massa muscular pré-natal (BEERMANN; CASSENS; HAUSMAN, 1978). As fibras secundárias passam por hipertrofia e se ligam a outros miotubos, por meio de uma forte ligação permitindo a comunicação célula a célula. O período de mioblasto fetal, quando as fibras musculares secundárias são formadas, determina o número final de fibras no animal adulto. A formação das miofibrilas secundárias se sobrepõe parcialmente à formação de adipócitos intramusculares e os fibroblastos (HOPKINS; TAYLOR, 2004). Juntos, esses três tipos celulares, miócitos, adipócitos e fibroblastos, produzem a estruturação básica do músculo esquelético (YAN et al., 2013).

Durante o processo da miogênese, alguns mioblastos não se fundem e permanecem quiescentes entre a membrana plasmática da fibra muscular e a lâmina basal, sendo denominados de células satélites ou mioblastos adultos indiferenciados (SILVA; CARVALHO, 2007). O número de células satélites no músculo é dependente da espécie e do tipo de fibra considerado, diminuindo assim no envelhecimento (SCHULTZ; MCCORMICK, 1994). As células satélites são compostas por mioblastos indiferenciados, que permanecem quiescentes entre a membrana plasmática da fibra muscular e a lâmina basal, quando estimulada, é ativada e funde-se com a fibra muscular pré-existente (DU et al., 2010). Os núcleos derivados dessas células começam a sintetizar proteínas, aumentando o volume muscular, por meio da formação de novos sarcômeros. Du et al. (2010) relataram que durante a fase pós-natal, o crescimento

muscular ocorre por hipertrofia das células musculares já existentes, sem a formação de novas fibras musculares, e este processo é dependente das células satélites.

Durante o período embrionário e fetal, o crescimento do músculo é caracterizado pelo aumento no número de fibras musculares e seus agrupamentos, conhecido como hiperplasia, e na grande maioria das espécies animais não ocorre aumento no número de células musculares após o nascimento. A quantidade de fibras musculares ao nascimento é, portanto, fator determinante do potencial de crescimento do animal, uma vez que o incremento da massa muscular no período pós-natal ocorre exclusivamente a partir do aumento do tamanho das células previamente formadas (LOPES, 2010). Zhu et al. (2006) ressaltaram o efeito na formação no número de fibras durante a fase inicial e média da gestação. Posteriormente, Greenwood e Cafe, (2007) relataram que o período fetal é crítico, pois não existe aumento no número de fibras musculares após o nascimento.

O primeiro estudo envolvendo o tecido muscular classificavam os músculos em vermelhos ou brancos, desenvolvido por Rainver (1873). Em seguida, as fibras musculares foram classificadas em vermelhas, intermediárias e brancas (OGATA, 1958). As fibras musculares foram classificadas de acordo com suas propriedades metabólicas, contráteis e de cor (KLONT et al., 1998). Os três tipos principais de fibra (vermelhas, intermediárias e brancas) podem ser identificados usando o método de Gauthier (1969). Este método consiste na tipagem da fibra com base em reações histoquímicas de capacidade oxidativa aeróbia, utilizando a enzima de referência succinato desidrogenase (SDH). Este método reflete as diferenças no conteúdo mitocondrial da fibra, diferenças em tipo de fibra muscular entre os músculos, refletindo nas diferenças da composição de ácidos graxos: tipo de músculos “vermelhos”, considerados oxidativos, apresentam maior proporção de fosfolipídios; e tipo de músculos “brancos”, glicolíticos apresentam uma maior porcentagem de ácidos graxos poliinsaturados (WOOD et al., 2004). Por fim, BROOKE; KAISER (1970) descreveram três tipos principais de fibras musculares de acordo com o padrão de reação para a atividade da ATPase da porção globular da cadeia pesada da miosina (ATPase miofibrilar ou m-ATPase), sendo denominadas de fibras dos tipos I, IIA e IIB.

O tecido muscular é composto basicamente por três tipos de fibras musculares. As fibras do Tipo I, oxidativas de contração lenta, possuem um baixo nível de atividade da miosina ATPase e uma capacidade glicolítica que é menos desenvolvida do que as fibras de contração rápida. As fibras de contração lenta têm uma banda Z mais larga do que as fibras de contração rápida (SJÖSTRÖM; SQUIRE, 1977). Já as fibras do tipo I apresentam numerosas mitocôndrias, mioglobina e citocromo, contendo ferro da cadeia de transferência de elétrons.

Altas concentrações de enzimas mitocondriais e mioglobina também suportam uma capacidade metabólica aeróbica aumentada (NEMETH; LOWRY, 1984). Além disso, as fibras do tipo I contêm uma quantidade maior de lipídios, alguns presumivelmente atuam como fonte de combustível metabólico aeróbico; também contêm menores quantidades de glicogênio e glicose do que as fibras do tipo IIB (HINTZ; COYLE; CHI, 1984). As fibras do tipo II (IIX, IIA e IIB) são consideradas glicolíticas de contração rápida, as fibras IIA e IIX apresentam velocidades de encurtamento semelhantes entre si, no entanto, mais lentas do que as fibras do tipo IIB. Além disso, as fibras do tipo IIB, usam predominantemente glicose como combustível. Portanto, as fibras do tipo II, especialmente do tipo IIB, apresentam capacidade de transferir energia rapidamente para ações musculares rápidas e vigorosas (SCHIAFFINO; REGGIANI, 1996).

A composição do tipo de fibra muscular segue a ordem do tipo I $\geq$ tipo IIA $\geq$ tipo IIB (SCHIAFFINO; REGGIANI, 1996). Essas fibras são classificadas de acordo com o tipo de MyHC predominante: (IC= MyHC I > MyHC IIA, IIC= MyHC IIA > MyHC I, IIAD=MyHC IIA > MyHC IID, IIBD =MyHC IIB > MyHC IID) (STARON; PETTE, 1993). Independentemente da espécie, o fator mais importante que determina a composição da fibra muscular é o tipo de músculo, provavelmente em relação à sua função fisiológica específica. Para um determinado músculo, a composição da fibra varia de acordo com a espécie. Por exemplo, o músculo *Longissimus dorsi* de suínos contém aproximadamente 10% de fibras tipo I, 10% IIA, 25% IIX e 55% IIB, enquanto o músculo *Longissimus dorsi* bovino contém em média 30% de fibras tipo I, 18% IIA e 52% IIX. Já o músculo *Semitendinosus* em bovino tem a proporção de 10 a 30% tipo I e 34 a 58% tipo IIB (TOTLAND; KRYVI; SLINDE, 1988). Um processo biológico importante que está diretamente relacionado com o tipo de MyHC é a velocidade de contração de uma fibra muscular (TALMADGE et al., 1993). A MyHC de rápida hidrólise do ATP é característica das fibras do tipo II, que são fibras de contração rápida. Já a MyHC de baixa atividade ATPásica é encontrada nas fibras do tipo I, de contração lenta (KELLY; RUBINSTEIN, 1994). A associação da reação histoquímica m-ATPase com a técnica da eletroforese envolvendo a micro-dissecção de fibras possibilitou a separação de quatro isoformas de cadeia pesada de miosina (MHC) presentes nas fibras musculares: fibras do tipo I, com MyHC-I, fibras do tipo IIA, com MyHC IIA, fibras do tipo IIB, com MyHC IIB e fibras do tipo IID com MyHC IID. A MyHC IID está presente nos músculos de pequenos mamíferos e possui uma velocidade de contração intermediária entre as MyHC IIA e MyHC IIB (HILBER et al., 1999). As fibras IID apresentam características histoquímicas e bioquímicas similares às fibras 2X descritas em ratos (LARSSON et al., 1991), sendo também denominadas de fibras IID/IIX (SCOTT et al., 2001).

Alguns estudos descreveram correlações entre os tipos de fibra muscular ou isoformas de miosina de cadeia pesada (MyHC) e a qualidade da carne (CALKINS et al., 1981; CHARDULO et al., 2019; LISTRAT et al., 2020; MALTIN et al., 1998). A base molecular do tipo de fibra muscular é a diferença principalmente no tipo de isoformas MyHC, que se comportam como ATPase com um sítio de ligação de ATP na região de suas moléculas (SCHIAFFINO; REGGIANI, 1996). A estrutura molecular das isoformas MyHC seria responsável pelas propriedades do *rigor mortis* específico de cada espécie. Sendo assim, cada gene da família da miosina (MyHC) codifica uma isoforma específica (SCHIAFFINO; REGGIANI, 1996). As isoformas MyHC-I, IIa e IIx / d (TANABE; MUROYA; CHIKUNI, 1998) codificadas pelos genes *MYH7*, *MYH2* e *MYH1*, respectivamente, são as principais isoformas encontradas no músculo esquelético de gado adulto (SCHIAFFINO; MAMMUCARI, 2011).

Em relação à maciez, há resultados divergentes, pois alguns autores citaram um negativo efeito da maciez no tipo de fibras MyHC-I, no músculo *Longissimus dorsi* (CROUSE; KOOHMARAIE; SEIDEMAN, 1991; HWANG et al., 2010), e observaram que o aumento da proporção de fibras tipo I, de contração lenta na carne de bovinos proporcionou uma melhora na maciez da mesma. Em contraste, outros estudos descreveram um efeito positivo do MyHC-I sobre maciez da carne em diferentes raças, como Aubrac, Salers, Limousin, Charolês, Montbéliard, Holstein, e Blond d'Aquitaine (CHRIKI et al., 2012). No entanto, não há dados conhecidos da relação do tipo de fibras ao longo da vida do animal, principalmente em animais zebuínos em condições tropicais. Além disso, não há conhecimento sobre a distribuição do tipo de fibra muscular, se esta poderia apresentar relação com a taxa de ganho de peso dos animais.

Comprimento de sarcômero

A maciez da carne é influenciada pelas condições que prevalecem durante o período entre o abate e o completo desenvolvimento do *rigor mortis* (LAWRIE, 2005). O sarcômero constitui a menor unidade contrátil estrutural repetitiva da miofibrila, apresentando um papel importante no ciclo de contração e relaxamento muscular (Figura 3) (TONISSI et al., 2011).

Figura 3 - Desenho esquemático da seção longitudinal de um sarcômero em estado contraído, relaxado ou estendido

Fonte: Adaptado por Judge (1989).

O processo de “encurtamento” do sarcômero ocorre durante a contração muscular, pela sobreposição dos filamentos de actina e miosina. Os sarcômeros se encurtam porque os filamentos finos (actina) deslizam ativamente por entre os filamentos grossos (miosina), deslocando os filamentos de actina mais para o centro do sarcômero “puxando” os discos Z, causando assim o “encurtamento” do mesmo (HUXLEY, 1969).

Os filamentos de actina deslizam-se centralmente sobre os filamentos de miosina, como resultado de forças mecânicas geradas pela interação das pontes cruzadas dos filamentos de miosina com os de actina, causando a contração dos discos Z e consequentemente o encurtamento do sarcômero (HUXLEY, 1969). Quando ativas, o potencial de ação das forças mecânicas faz com que o retículo sarcoplasmático libere grandes quantidades de íons Ca^{++} , que rapidamente alcançam as miofibrilas. Por sua vez, os íons Ca^{++} ativam os filamentos de miosina e actina, dando início à contração. Esse processo também necessita de energia para o processo contráctil. A energia provem de ligações ricas em energia do trifosfato de adenosina (ATP), degradado do difosfato de adenosina (ADP) (GEEVES; HOLMES, 2005).

O comprimento do sarcômero, enquanto um animal está vivo, tem apenas efeitos indiretos sobre a qualidade da carne. Contudo, logo após a morte há mudanças relevantes: a posição das articulações, a taxa de reações *post mortem*, devido às circunstâncias perimortais, bem como o estado nutritivo, estresse, temperatura *post mortem*, entre outros. (ERTBJERG; PUOLANNE, 2017). Assim, animais com alta taxa de crescimento apresentam maior síntese de proteína e, portanto, o aumento da proteólise ocorre *post-mortem*, de modo que os músculos sejam impedidos de realizar o encurtamento excessivo ao entrarem em rigidez (PERRY; THOMPSON, 2005). Os comprimentos do sarcômero *post mortem* têm efeitos marcantes nas

propriedades de maciez na carne crua e cozida, e permitem explicar em média 25% da maciez na carne e sobre a retenção de água especialmente na carne crua, bem como efeitos indiretos sobre cor, e gosto (RHODES; DRANSFIELD, 1974).

O comprimento típico de um sarcômero é de 2,5 μm , sendo mais longo do que os valores encontrados em *rigor* (cerca de 2 μm) (ERTBJERG; PUOLANNE, 2017). Silva et al. (2017) trabalharam com diferentes taxa de crescimento em bovinos (baixo, alto e médio ganho) na fase do pós desmame e na terminação, os autores encontraram valores de 1,75; 1,87 e 2,01 μm , respectivamente, atribuindo explicação nas diferenças de peso corporal e quantidade de gordura na carcaça, relacionando este efeito devido ao fato dos animais que tiveram crescimento compensatório (THERKILDSEN, 2005). Purchas et al. (2002) estudaram o efeito do potencial de crescimento de novilho e touros no músculo *Longissimus dorsi* e não verificaram efeito no comprimento de sarcômero para diferentes taxas de crescimento, não constatando nenhuma diferença entre a maciez e tecido conjuntivo entre os animais estudados.

No entanto, ainda há escassas evidências de que a taxa de ganho de peso dos animais pudesse interferir no comprimento do sarcômero e isto poderia levar à alterações na textura da carne.

Colágeno

Uma característica intimamente relacionada a qualidade de carne é o colágeno, principal componente do tecido conjuntivo e da unidade estrutural da matriz extracelular. Esta proteína compõe uma substância polipeptídica que compreende 5% das proteínas musculares, além de envolver as fibras musculares e o músculo, influenciando diretamente as propriedades qualitativas e quantitativas da carne (POWELL; HUNT; DIKEMAN, 2000). O colágeno é constituído por uma molécula de três cadeias polipeptídicas, correspondendo a composição aminoacídica com uma quantidade relativamente alta de hidroxiprolina (13 a 14%), resultante da modificação pós-transducional, diferindo-se assim de outras proteínas (CHAMPLE; HARVEY, 1996).

A bioquímica do colágeno ocorre inicialmente no retículo endoplasmático, depois no complexo de Golgi, passando pelo núcleo dos fibroblastos, a codificação do colágeno pelo m-RNA, finalmente transportado para o citoplasma e sintetizadas no ribossomo (CHAMPLE; HARVEY, 1996). No retículo endoplasmático rugoso ocorre a montagem do pró-colágeno. Modificações pós-transducionais envolvem a hidroxilação, oxidação, condensação aldólica, redução e glicosilação. Por fim, o colágeno é secretado por meio extracelular e ocorre a

transformação do tropocolágeno (tríplice-hélice), constituído por três cadeias polipeptídicas enroladas, formando a alfa-hélice (VELLEMAN, 1999).

São conhecidos 19 tipos de proteínas colágenas, sendo predominantes no tecido muscular as proteínas dos tipos I, III, V e tipo IV, componente da membrana basal que liga a camada reticular do endomísio à membrana das células musculares (sarcolema), além de estarem presentes na bainha de sustentação muscular (TAKALA; VIRTANEN, 2000). No músculo, o colágeno tipo I e o tipo III são mais abundantes na matriz extracelular (HUANG et al., 2012), encontrados no endomísio, perimísio e epimísio, influenciando diretamente a maciez da carne (BAILEY, 2001). O colágeno do tipo I forma fibras em paralelo e conferem força tênsil e rigidez devido as ligações cruzadas intermoleculares estabelecidos dentro da matriz; o colágeno do tipo III, segunda forma fibrosa mais abundante da proteína do músculo esquelético, é encontrado inicialmente circundando o tecido cicatricial e o músculo esquelético em regeneração, é mais frouxo que o anterior e dá conformidade e flexibilidade ao tecido. Já o colágeno tipo IV ocorre no endomísio, ao redor das fibras musculares individuais. Por fim, o colágeno do tipo V, que é encontrado em menor proporção, mas possui papel fundamental no controle da fibrilogênese colágena (LETHO; DUANCE; RESTALL, 1985).

O colágeno exerce a função conectiva entre músculos e ossos, e sua quantidade diferencia os músculos com relação à maciez, enquanto alterações relacionadas à idade do animal estejam associadas à solubilidade deste com a quantidade de ligações cruzadas existentes (DUARTE et al., 2013; YAN et al., 2013). Estas ligações cruzadas ocorrem em uma primeira etapa enzimática, catalisada pela enzima extracelular lisil-oxidase, posteriormente pelo processo de glicosilação dos resíduos, devido ao processo oxidativo (BAILEY, 2001). As ligações são constituídas em intramoleculares (ocorrem no interior da molécula) e intermoleculares, que liga uma triple célula a outra, em especial, são cruciais para estabilidade das fibras de colágeno (CHAMPLE; HARVEY, 1996).

Embora as ligações cruzadas presentes no colágeno influenciem a qualidade da carne, estas são fundamentais para manutenção da resistência muscular. O acúmulo e a maturação do tecido conjuntivo são influenciados, ainda, pela genética, classe sexual, regime alimentar e crescimento muscular (SAINZ; ARAÚJO, 2001). Sendo assim, a formação de ligações cruzadas é uma etapa essencial na taxa de crescimento a fim de obter e manter resistência mecânicas nas fibras do colágeno (BOSSSELMANN et al., 1995). As ligações intermoleculares presentes no colágeno do músculo de animais jovens estão em menor número e são mais instáveis ao calor, e à medida que os animais envelhecem, convertem-se em estruturas complexas tornando-se termoestáveis (DUARTE et al., 2013). Essas modificações estão

associadas com aumentos substanciais na rigidez e insolubilidade do colágeno, devido à sua alta força de tensão que formam pontes cruzadas intermoleculares e, conseqüentemente, redução na maciez da carne de animais velhos (TAKALA; VIRTANEN, 2000).

Mudanças na estrutura do tecido conectivo podem estar associadas às taxa de crescimento, idade e possivelmente diferenças de exercício de novilhos terminados a pasto ou confinamento (BRUCE; STARK; BEILKEN, 2004). Sendo assim, a taxa de crescimento inibe a deposição de proteoglicanos na matrix celular, devido ao aumento da degradação e *turnover* da molécula, pela inibição da síntese de enzimas proteolíticas (WILLIAMSON et al., 2003). Desta maneira, a estruturação do colágeno, não apenas o conteúdo total, pode explicar as diferenças na maciez da carne entre os mesmos músculos de animais de mesma idade, porém criados em diferentes sistemas de produção.

Embora os poucos relatos na literatura de conteúdo total de colágeno e maciez da carne (TORRESCANO et al., 2003; LISTRAT et al., 2020), encontra-se uma mínima variação na concentração do conteúdo total com o crescimento animal. Sabe-se a importância da solubilidade do colágeno, que diminui com o peso e idade do animal, sendo correlacionado com a maciez da carne (CROSS; CARPENTER; SMITH, 1973). Entretanto, Renand et al. (1994) ressaltaram que há diferença da solubilidade do colágeno devido ao crescimento muscular. Animais corretamente alimentados apresentam elevada síntese proteica e produzem colágeno recém-sintetizado (considerado solúvel) (ABERLE et al., 1981).

O conteúdo de colágeno insolúvel é considerado como definidor da dureza da carne e segundo Riley et al. (2007), músculos com maior teor de ligações cruzadas das moléculas de colágeno por volume de músculos podem apresentar carne menos macia. No entanto, Silva et al. (2017) relataram que a taxa de crescimento animal também pode afetar o colágeno, um crescimento mais rápido pode aumentar a quantidade de colágeno solúvel e a maciez (PURSLOW; ARCHILE-CONTRERAS; CHA, 2012). Entretanto, não foi observada diferença entre o teor de colágeno intramuscular no final do crescimento pós-desmame ou na fase de terminação, em três diferentes tratamentos (baixo, médio e alto) de taxas de crescimento nos estudos de SILVA et al. (2017), em novilhos Nelore. Não obstante, Listrat et al. (2020) não encontraram o papel preponderante do colágeno na maciez, em relação ao colágeno total em bovinos jovens Charolês, na mesma condição de alimentação, fazenda, tempo de terminação e espessura de gordura.

Cholesterol

O colesterol é conhecido como um precursor de muitos hormônios, um constituinte essencial das membranas celulares e o precursor dos sais biliares necessários para a digestão de lipídios (MARTIN; COOLIDGE, 1978; GODBER, 1994). O colesterol apresenta inúmeras funções no organismo, porém pode acarretar aumento em sua concentração no sangue e consequentemente causar doenças coronarianas, hipertensão arterial, problemas de diabetes *mellitus* e formação de cálculos biliares (LUDKE; LÓPEZ, 1999). Assim, há um número crescente de consumidores que não consideram apenas o sabor da carne, mas estão em busca da composição saudável da carne, como qualidade com alto teor de ácidos graxos poli-insaturados (PUFA) e ácidos graxos monoinsaturados (MUFA), além de baixos índices de colesterol.

De acordo com o Department of Health and Human Services- (HHS) (2010), recomenda-se que a ingestão de colesterol deve ser o mínimo possível em uma alimentação saudável, sem um limite específico devido às evidências inadequadas para se colocar tal limiar. Contudo, em anos anteriores, o HHS recomendou a ingestão de colesterol de no máximo 300 mg/dia na dieta humana. A concentração média de colesterol encontrada no bife de *Longissimus dorsi* da raça Nelore foi de 73.4/100 mg de carne, segundo Costa et al. (2020). De acordo com Joo et al. (2013), o conteúdo de colesterol presente em *Longissimus dorsi* bovino variou entre 60,59-61,21mg / 100 g com diferentes conteúdos de gordura intramuscular. Diferentes valores são encontrados em outras raças como Limousin, Piemontês e Friesian, com média de 50,9/100 g de carne (BRUGIAPAGLIA; LUSSIANA; DESTEFANIS, 2014). Diante disso, pode-se considerar que diferentes concentrações de colesterol se dão pela diferença na estrutura das células musculares e intramuscular, o que poderia culminar efeito para animais com alta taxa de crescimento muscular.

Segundo Van Soest (1982), o colesterol em ruminantes ocorre pelo transporte de lipídeos e lipogênese, e a biossíntese do colesterol por acetado, processo energeticamente caro, e, portanto, a menor quantidade de colesterol no sangue pode indicar lipogênese reduzida e transporte de lipídeos, resultando em menor exigência do animal. Além disso, o processo de oxidação do colesterol pode causar aterogênicos, citotóxicos, mutagênicos e carcinogênicos (LEMAIRE-EWING et al., 2005). Rule; Macneil; Short (1997) estudaram a influência do potencial de crescimento de bovinos na composição de colesterol e ácidos graxos no músculo *Longissimus dorsi* e verificaram menor porcentagem na concentração de colesterol na carcaça de animais com alta taxa de crescimento (57,7 mg/100g). Este valor foi considerado baixo em animais com alta taxa de crescimento e se deveu pela menor deposição de quantidade de gordura na carcaça, priorizando o crescimento de massa muscular na carcaça. Portanto, animais

com alta taxa de crescimento apresentam menor concentração de colesterol na carcaça, pois o colesterol pode ter um efeito fluidificante em membranas, que contêm uma alta proporção de ácidos graxos saturados, causando efeitos não desejáveis para a saúde humana (CULLIS; HOPE, 1985).

Lipídeos totais e perfil de ácidos graxos

A nutrição é o fator ambiental mais importante para a saúde humana, pois constitui um dos requisitos básicos para a promoção e proteção da saúde, possibilitando o crescimento e desenvolvimento com qualidade de vida (RIZZOLO, 2005). Na dieta humana, a gordura é um nutriente essencial que fornece ao corpo energia, ácidos graxos essenciais e transporte para vitaminas lipossolúveis (A, D, E e K e carotenóides) (MARTIN; COOLIDGE, 1978).

Ao longo do século passado, as recomendações dietéticas mudaram para acompanhar o ritmo das pesquisas atuais sobre saúde e nutrição. Há uma maior preocupação da população em relação a origem e a composição dos alimentos, bem como à quantidade e qualidade de gordura, colesterol, entre outras, que possam impactar na saúde do consumidor. A ingestão elevada de ácidos graxos saturados, por exemplo, pode contribuir para problemas na ordem de síndrome metabólica, causando inflamação dos tecidos adiposo e resistência à insulina em diversos tecidos (KENNEDY et al., 2009). Dessa forma, é recomendada a ingestão em quantidades adequadas de gordura total, ácidos graxos poli-insaturados (AGPI), como o ômega 3 (n3) e de ácidos graxos saturados (AGS) (MARTIN et al., 2006). Diante disso, atualmente os consumidores buscam por alimentos de origem animal com menor teor de ácidos graxos saturados e calorias e ricos em ácidos graxos insaturados, para favorecer uma vida saudável e prevenir o desenvolvimento de doenças.

A importância de se estudar a composição dos ácidos graxos (AG) da gordura intramuscular da carne se dá ao fato de que o consumidor não consegue retirar ou remover esse tipo de gordura antes do seu consumo (DE SMET; RAES; DEMEYER, 2004). De acordo com Scollan et al. (2006), o conteúdo de lipídeos total da carne bovina varia de 4 a 15%. Os AG da gordura intramuscular da carne bovina consistem proporcionalmente em média de 45-48% de AGS, 35-45% AGMI e até 0,05 de AGPI. A razão de ácidos graxos poli-insaturados: saturados (AGPI:AGS) da carne é geralmente baixa, em torno de 0,1, exceto para animais muito magros (<1% de gordura intramuscular), no qual a razão AGPI:AGS é mais elevada, aproximadamente 0,5-0,7. Os AGS mais comuns presente na carne bovina são o mirístico (14:0), palmítico (16:0) e esteárico (18:0), já no AGMI (ácido graxo monoinsaturado), o palmitoleico (16:1) e o oleico

(18:1 cis9), e nos principais AGPI, o linoleico (18:2), linolênico (18:3) e araquidônico (20:4), e os isômeros do ácido graxo linolênico conjugado (CLA) (SCOLLAN et al., 2006).

Alguns fatores podem contribuir para a composição do AG na carne, como genética, condição sexual, idade ao abate e taxa de crescimento dos animais (SMITH et al., 2006; WALDMAN; SUESS; BRUNGARD, 1968), bem como o metabolismo lipídico ao longo da vida do animal (SMITH et al., 2006). A deposição do tecido adiposo ocorre devido à hipertrofia dos adipócitos (lipogênese) e/ou hiperplasia das células adipogênicas (adipogênese) (HAUSMAN et al., 2009). A adipogênese está associada ao aumento do teor de gordura intramuscular de bovinos Wagyu, na fase de terminação (DUARTE et al., 2013). A seleção de animais para a taxa de ganho de peso pode contribuir também para uma melhora na composição de AG na carne (FERRINHO et al., 2019). No entanto, ainda há necessidade de se estudar os efeitos da taxa de crescimento de bovinos na composição de perfil de AG. Nesse sentido, Huerta-Leidenz et al. (1996) compararam a composição de perfil de ácidos graxos em bovinos *Bos taurus* e *Bos indicus*, em diferentes fases de crescimentos. Foram observados maiores valores em porcentagem de MUFA e PUFA (devido ao aumento do ácido graxo cis -12, 18:2) e diminuição de AGS em animais *Bos indicus*, com maior taxa de crescimento na fase pós – desmame. Os autores atribuíram que o ácido graxo elongase (que converte 16:0 em 18:0) e o ácido graxo desaturase (que converte 18:0 em 18:1) tornam-se mais ativos no período pós-desmame. Outros AG importantes para a saúde, como o ácido oleico (18:1 cis9) tem um aumento em porcentagem com o avanço da idade, peso de carcaça e total de gordura do animal (WALDMAN; SUESS; BRUNGARD, 1968), enquanto que a concentração dos ácidos graxos C12:0, C14:0 e C18:0 diminuem com o crescimento animal (HUERTA-LEIDENZ et al., 1996). Nesta vertente, Feitosa et al. (2017) estudaram os efeitos genéticos-quantitativos entre o perfil de ácidos graxos da carne bovina de Nelore, os autores encontraram que a seleção para maciez não compromete a composição dos ácidos graxos.

Posteriormente, Ferrinho et al. (2019) compararam o efeito da taxa de crescimento na carcaça e a qualidade de carne de bovinos Hereford terminados em diferentes sistemas de terminação a pasto e confinamento, eles demonstraram que esses animais apresentam maiores concentrações de ácido oleico e ácidos graxos linoleicos quando comparados aos novilhos terminados a pasto. Em uma meta-análise, Brito et al. (2014) estudaram diferentes taxas de crescimento em animais de raças britânicas. Esses autores observaram maiores concentrações de AGS e da razão n6:n3 e menor relação PUFA: SFA em animais alimentados com dietas alto grão na terminação.

Sendo assim, é de suma importância conhecer os fatores que podem afetar a seleção

da taxa de crescimento de bovinos de corte, em condições tropicais, sobre a qualidade do produto final da cadeia da carne, compreendendo as características qualitativas e quantitativas da carcaça e carne dos animais.

REFERÊNCIAS

- ABERLE, E. D.; REEVES, E. S.; JUDGE, M. D.; HUNSLEY, R. E.; PERRY, T. W. Palatability and muscle characteristics of cattle with controlled weight gain: Time on high energy diet. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 52, p. 757-763, 1981.
- AGUDELO-GÓMEZ, D. A.; MUÑOZ, M. F. C.; RESTREPO, L. F. Modelación de funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuária**, Medellín, v. 20, p. 157-173, 2007.
- ALENCAR, M. M.; POTT, E. B. Introdução: criação de bovinos de corte na região sudeste. **Embrapa Pecuária Sudeste**. São Carlos, 2008.
- ALMEIDA, T. R. V.; PEREZ, J. R. O.; CLAD, M.; FRANÇA, P. M.; LEITE, R. F.; NOLLI, C. P. Desempenho e tamanho de vísceras de cordeiros Santa Inês após ganho compensatório. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 3, p. 616-621, 2011.
- ALVES, D. D.; GOES, R. H. T. B.; MANCIO, A. B. Maciez da carne bovina. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 6, n. 3, p. 135–149, 2006.
- ALTARRIBA, J.; VARONA, L.; MORENO, C.; YAGUE, G.; SAÑUDO, C. Consequences of selection for growth on carcass and meat quality in Pirenaica cattle. **Livestock Production Science**, Netherlands, v. 95, 103-114, 2005.
- BAILEY, A. J. Molecular mechanisms of ageing in connective tissues. **Mechanisms of Ageing and Development**, Limerick, v. 122, p. 735-755, 2001.
- BEERMANN, D. H.; CASSENS, R. G.; HAUSMAN, G. J. A second look at fiber type differentiation in porcine skeletal muscle. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 46, n. 1, p. 125–132, 1978.
- BERG, R. T. ; BUTTERFIELD, R. M. **New concepts of cattle growth**. Sydney, Australia: Sydney University Press, 1976.
- BRISOLARA, C. S. Balanced scorecard em uma propriedade pecuária. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2008.
- BOSELTMANN, A.; MÖLLER, C.; STEINHART, H.; KIRCHGESSNER, M.; SCHWARZ, F. J. Pyridinoline cross-links in bovine muscle collagen. **Journal of Food Science**, Hoboken, v. 60, n. 5, p. 953–958, 1995.
- BULTOT, D.; DUFRASNE, I.; CLINQUART, A.; HOQUETTE, J. L.; ISTASSE, L. Performances and meat quality of Belgian Blue, Limousin and Aberdeen Angus bulls fattened with two types of diet. In: RENCONTRE DES RECHERCHES SUR RUMINANTS, 2002, Paris. **Proceedings...** Paris, 2002. p. 271.
- BRITO, G. et al. Growth , carcass traits and palatability : Can the influence of the feeding

regimes explain the variability found on those attributes in different Uruguayan genotypes ? **Meat Science**, Amsterdam, v. 98, n. 3, p. 533–538, 2014.

BRITO, L. C. et al. Genetic parameters for milk, growth, and reproductive traits in Guzará cattle under tropical conditions. **Tropical Animal Health and Production**, Edinburgh, v. 52, n. 5, p. 2251–2257, 2020.

BRODY, S. **Bioenergetics and growth**: with special reference to efficiency complex in domestic animals. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1945.

BROOKE, M. H.; KAISER, K. K. Three "myosin adenosine triphosphatase" systems: the nature of their pH lability and sulfhydryl dependence. **Journal of Histochemistry Cytochemistry**, Seattle, v. 18, n. 9, p. 670–672, 1970.

BRUCE, H. L.; STARK, J. L.; BEILKEN, S. L. The effects of finishing diet and postmortem ageing on the eating quality of the M. longissimus thoracis of electrically stimulated Brahman steer carcasses. **Meat Science**, Amsterdam, v. 67, n. 2, p. 261–268, 2004.

BRUGIAPAGLIA, A.; LUSSIANA, C.; DESTEFANIS, G. Fatty acid profile and cholesterol content of beef at retail of Piemontese, Limousin and Friesian breeds. **Meat Science**, Amsterdam, v. 96, n. 1, p. 568–573, 2014.

CALKINS, C. R.; DUTSON, 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**, Hoboken, v. 46, n. 3, p. 708–710, 1981.

CARWRIGIT, T. C. Selection criteria for beef cattle for the future 1 sexual divergence o functional require. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 30, p. 706–711, 1970.

CHAMPLE, C. P.; HARVEY, R. A. **Bioquímica ilustrada**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 1996. 446 p.

CHARDULO, L. A. L. et al. Gene and protein expression of myosin heavy chain in Nellore cattle comparing growth or meat tenderness traits. **Animal Biotechnology**, New York, p. 1–10, 2019.

CHARGÉ, S. B.; RUDNICKI, M. A. Cellular and molecular regulation of muscle regeneration. **Physiological Reviews**, Bethesda, v. 84, n. 1, p. 209–238, 2004.

CHOI, Y. M.; KIM, B. C. Muscle fiber characteristics, myofibrillar protein isoforms, and meat quality. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 122, n. 2–3, p. 105–118, 2009.

CHRIKI, S. et al. Meta-analysis of the comparison of the metabolic and contractile characteristics of two bovine muscles: Longissimus thoracis and semitendinosus. **Meat Science**, Amsterdam, v. 91, n. 4, p. 423–429, 2012.

CÔNSOLO, N. R. B. et al. Selection for growth and precocity alters muscle metabolism in nellore cattle. **Metabolites**, Basel, v. 10, n. 2, p. 1–12, 2020.

COSTA, P. et al. Repercussions of growth path on carcass characteristics, meat colour and

shear force in Alentejana bulls. **Animal**, Cambridge, v. 9, n. 8, p. 1414–1422, 2015.

COSTA, E. C. et al. Composição física da carcaça, qualidade da carne e conteúdo de colesterol no músculo Longissimus dorsi de novilho Red Angus superprecoces, terminados em confinamento e abatidos com diferentes pesos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 417-428, 2002.

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

CROSS, H. R.; CARPENTER, Z. L.; SMITH, G. C. Effects of intramuscular collagen and elastin on bovine muscle tenderness. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 38, p. 998-1003, 1973.

CULLIS, P. R.; HOPE, M. J. Physical properties and functional roles of lipids in membranes. In: VANCE, D. E.; VANCE, J. E. (ed.). **Biochemistry of lipids and membranes**. Menlo Park, 1985. p. 25.

DE PAZ, C. C. P.; DE ALBUQUERQUE, L. G.; FRIES, L. A. Efeitos ambientais sobre ganho de peso no período do nascimento ao desmame em bovinos da raça nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 55–64, 1999.

DE SMET, S.; RAES, K.; DEMEYER, D. Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: a review. **Animal Research**, Les Ulis, v. 53, n. 2, p. 81–98, mar. 2004.

DODSON, M. V. et al. Invited review: Evolution of meat animal growth research during the past 50 years: Adipose and muscle stem cells. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 93, p. 457–481, 2015.

DU, M. et al. Fetal programming of skeletal muscle development in ruminant animals. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, Berlin, v. 88, p. E51–E60, 2010.

DUARTE, M. S. et al. Enhancement of adipogenesis and fibrogenesis in skeletal muscle of Wagyu compared with Angus cattle. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 91, n. 6, p. 2938–2946, 2013.

ELER, J. P.; BIGNARDI, A. B.; FERRAZ, J. B. S.; SANTANA JUNIOR, M. L. Theriogenology Genetic relationships among traits related to reproduction and growth of Nelore females. **Theriogenology**, Los Altos, California, v. 82, 708–714, 2014.

ERTBJERG, P.; PUOLANNE, E. Muscle structure, sarcomere length and influences on meat quality: A review. **Meat Science**, Amsterdam, v. 132, p. 139–152, 2017.

FARIA, C. U.; LÔBO, R. B.; MAGNABOSCO, C. U.; DIAS, F. J. S.; SAENZ, E. A. C. Impactos da pesquisa científica no melhoramento genético de bovinos de corte para qualidade da carne. **PUBVET**, Londrina,, v. 2, n. 31, 2008

FEITOSA, F. L. B. et al. Genetic correlation estimates between beef fatty acid profile with meat and carcass traits in Nelore cattle finished in feedlot. **Journal of Applied Genetics**, Cheshire, v. 58, n. 1, p. 123–132, 2017.

FERRAZ, J. B. S.; FELÍCIO, P. E. DE. Production systems - An example from Brazil. **Meat Science**, Amsterdam, v. 84, n. 2, p. 238–243, 2010.

FERRINHO, A. M. et al. Effect of growth path on carcass and meat-quality traits of Hereford steers finished on pasture or in feedlot. **Animal Production Science**, Melbourne, v. 60, n. 2, p. 323–332, 2019.

FITZHUGH, H. A. J. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 42, n. 4, p. 1036–1051, 1976.

GAUTHIER, G. F.: On the relationship of ultrastructural and cytochemical features to colour in mammalian skeletal muscle. *Zeitschrift für Zellforschung und Mikroskopische Anatomie*, v.95, p. 462–182, 1969.

GEEVES, M. A.; HOLMES, K. C. The molecular mechanism of muscle contraction. **Advances in Protein Chemistry**, New York, v. 71, n. 4, p. 161–193, 2005.

GERRARD, D. E.; GRANT, A. L. An introduction to animal growth and development. In: _____. **Principles of animal growth and development**. Dubuque: Kendall Hunt, 2006a.

GERRARD, D. E.; GRANT, A. L. Whole body animal growth. In: _____. **Principles of animal growth and development**. Dubuque: Kendall Hunt, 2006b. p. 49–178.

GOLDBERG, V.; RAVAGNOLO, O. Description of the growth curve for Angus pasture-fed cows under extensive systems. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 93, n. 9, p. 4285–4290, 2015.

GREENWOOD, P. L.; CAFE, L. M. Prenatal and pre-weaning growth and nutrition of cattle: Long-term consequences for beef production. **Animal**, Cambridge, v. 1, n. 9, p. 1283–1296, 2007.

GREENWOOD, P. L.; HARDEN, S.; HOPKINS, D. L. Myofibre characteristics of ovine longissimus and semitendinosus muscles are influenced by sire breed, gender, rearing type, age and carcass weight. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, East Melbourne, v. 47, n. 10, p. 1137, 2007.

HAUSCHKA, S. D. The embryonic origin of muscle. In: ENGEL, A. G.; FRANZINI-ARMSTRONG, C. (ed.). **Myology**. 2nd ed. McGraw-Hill: London, 1994. p. 3-73.

HAUSMAN, G. J. et al. Board-invited review: The biology and regulation of preadipocytes and adipocytes in meat animals. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 87, n. 4, p. 1218–1246, 2009.

HOPKINS, D. L.; TAYLOR, R. G. Post-mortem muscle proteolysis and meat tenderness. In: TE PAS, M. F.W.; EVERTS, M. E.; HAAGSMAN, H. P. **Muscle development of livestock production: physiology, genetics and meat quality**. Oxfordshire: Cabi Publishing, 2004. p. 363-388.

HORNICK, J. L. et al. Different periods of feed restriction before compensatory growth in

belgian blue bulls: II. plasma metabolites and hormones. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 76, n. 1, p. 260–271, 1998.

HUERTA-LEIDENZ, N. O. et al. Fatty acid composition of subcutaneous adipose tissue from male calves at different stages of growth. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 74, n. 6, p. 1256–1264, 1996.

HINTZ, C. S.; EDWARD, F.; COYLE, K. K. K.; MAGGIE, M.Y.; CHI, O. H. L. Comparison of muscle fiber typing by quantitative enzyme assays and by myosin atpase staining. **The Journal of Histochemistry and Cytochemistry**, Thousand Oaks, v. 32, n. 6, p. 655–660, 1984.

HUXLEY, H. E. The mechanism of muscular contraction. **Science**, New York, v. 164, n. 3886, p. 1356–1366, 1969.

HWANG, Y. H. et al. The relationship between muscle fiber characteristics and meat quality traits of highly marbled Hanwoo (Korean native cattle) steers. **Meat Science**, Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 456–461, 2010.

HUANG, Y. et al. Maternal obesity enhances collagen accumulation and cross-linking in skeletal muscle of ovine offspring. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 7, n. 2, p. 1–8, 2012.

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

JUDGE, M. D. **Principles of meat science**. Dubuque: Kendall Hunt Publishing Company, 1989.

KEADY, S. M. et al. Compensatory growth in crossbred Aberdeen Angus and Belgian Blue steers: effects on the colour, shear force and sensory characteristics of longissimus muscle. **Meat Science**, Amsterdam, v. 125, p. 128–136, 2017.

KENNEDY, A. et al. Saturated fatty acid-mediated inflammation and insulin resistance in adipose tissue: Mechanisms of action and implications. **Journal of Nutrition**, Rockville, v. 139, n. 1, p. 1–4, 2009.

KELLY, A. M.; ZACKS, S. I. The histogenesis of rat intercostal muscle. **Journal of Cell Biology**, New York, v. 42, n. 1, p. 135–53, 1969.

KELLY, A. M.; RUBINSTEIN, N. A. The diversity of muscle fiber types and its origin during development. In: ENGEL, A. G.; FRANZINI-ARMSTRONG, C.(ed.). **Myology**. 2nd ed. London: McGraw-Hill, p. 119–133, 1994.

KIM, G. D. et al. Identification of myosin heavy chain isoforms in porcine longissimus dorsi muscle by electrophoresis and mass spectrometry. **Electrophoresis**, Weinheim, v. 34, n. 9–10, p. 1255–1261, 2013.

KLUSKA, S. et al. Estimates of genetic parameters for growth, reproductive, and carcass traits in Nelore cattle using the single step genomic BLUP procedure. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 216, p. 203–209, 2018.

KLONT, R.E, BROCKS, L, EIKELENBOOM G. Muscle fibre type and meat quality *Meat Science*, Amsterdam, v.49, s.1, S219-S229, 1998.

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

KOOHMARAIE, M.; WHEELER, T. L.; SHACKELFORD, S. D. Beef tenderness: regulation and prediction. Nebraska: **US Meat Animal Research Center**, Clay Center, 1994. 12 p.

LANCASTER, P. A.; KREHBIEL, C. R.; HORN, G. W. Ameta-analysis of effects of nutrition and management during the stocker and backgrounding phase on subsequent finishing performance and carcass characteristics. *Professional Animal Scientist*, Savoy, v. 30, n. 6, p. 602–612, 2014.

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

LARSSON, L. et al. MHC composition and enzyme-histochemical and physiological properties of a novel fast-twitch motor unit type. *American Journal of Physiology*, Bethesda, v. 261, n. 1, Pt 1, p. C93-101, 1991.

LEE, S. H. et al. Use of a bovine genome array to identify new biological pathways for beef marbling in Hanwoo (Korean Cattle). *BMC Genomics*, London, v. 11, n. 1, p. 623, 2010.

LEMAIRE-EWING, S. et al. Comparison of the cytotoxic, pro-oxidant and pro-inflammatory characteristics of different oxysterols. *Cell Biology and Toxicology*, Princeton, v. 21, n. 2, p. 97–114, 2005.

LETHO, M.; DUANCE, V. C.; RESTALL, D. Collagen and fibronectin in a healing skeletal muscle injury. *The Journal of Bone and Joint Surgery British*, London, v. 67B, n. 5, p. 820- 828, 1985.

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

LOPES, L. S. Aspectos fisiológicos e estruturais que influenciam o desenvolvimento do tecido muscular. *PUBVET*, Londrina, v. 4, n. 18, ed. 123, art. 834, 2010.

LUDKE, M. C. M. M.; LÓPEZ, J. Colesterol e composição dos ácidos graxos nas dietas para humanos e na carcaça suína. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 181–187, 1999.

MALTIN, C. et al. Determinants of meat quality: tenderness. *Proceedings of the Nutrition Society*, London, v. 62, n. 2, p. 337–347, 2003.

MARQUES, E. G.; MAGNABOSCO, C. U.; LOPES, F. B. Índices de seleção para bovinos da raça Nelore participantes de prova de ganho em peso em confinamento. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, Salvador, v. 13, n. 3, p. 669-681, 2012.

MARTIN, C. A. et al. Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e ômega-6: importância e ocorrência em alimentos. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 19, n. 6, p. 761-770, 2006.

MARTIN, E. A.; COOLIDGE, A. A. **Nutrition in action**. Holt: Rinehart and Winston, 1978.

MATTAR, M. et al. Genotype X environment interaction for long-yearling weight in Canchim cattle quantified by reaction norm analysis. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 89, p. 2349–2355, 2011.

MEDEIROS, S. R. **Valor nutricional da carne bovina e suas implicações para a saúde humana**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2008. 32 p. (SÉRIES Embrapa: [coletânea de publicações seriadas da Embrapa Gado de Corte - 2006 - 2007 -2008].

MEGENEY, L. A.; RUDNICKI, M. A. Determination versus differentiation and the MyoD family of transcription factors. **Biochemistry and Cell Biology**, Ottawa, v. 73, n. 9-10, p. 723-732, 1995.

MOLONEY, A. P.; MCGEE, M. **Factors influencing the growth of meat animals**. 8th. ed. [Duxford]: Woodhead Publishing, 2017.

MURRE, C.; McCAW, P.S.; VAESSIN, H. et al. Interactions between heterologous helix-loop-helix proteins generate complexes that bind specifically to a common DNA sequence. **Cell**, Cambridge, v. 58, n. 3, p. 537-544, 1989.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient requirements of beef cattle**. 6th. ed. Washington: National Academy Press, 1984.

NEMETH, P. M.; LOWRY, O. H. Myoglobin levels in individual human skeletal muscle fibers of different types. **The Journal of Histochemistry and Cytochemistry**, Thousand Oaks, v. 32, n. 11, p. 1211–1216, 1984.

OGATA, T. A histochemical studies on red and white muscle fibres. Part III. Activity of the diphosphopyridine nucleotide diaphorase and triphosphopyridine nucleotide diaphorase in muscle fibres. **Acta Medica**, Okayama, v. 12, p. 233-240, 1958.

ONTELL, M.; KOZEKA, K. The organogenesis of murine striated muscle: a cytoarchitectural study. **American Journal of Anatomy**, Philadelphia, v. 171, n. 2, p. 133-148, 1984.

OWENS, F. N. et al. Review of some aspects of growth and development of feedlot cattle 1. **Journal of animal science**, Cary, v. 73, p. 3152–3172, 1995.

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

PANETO, J. C. D. C. et al. Estudo de características quantitativas de crescimento dos 120 aos 550 dias de idade em gado Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 668–674, 2002.

- PARDO, A. M. et al. Genetic parameters for growth and cow productivity traits in Angus, Hereford and crossbred cattle. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 233, p. 103952, 2020.
- PAULINO, M. F.; RUAS, J. R. M. Consideracoes sobre a recia de bovino de corte. **Informe Agropecuario**, Belo Horizonte, v. 13, n. 153/154, p. 68–80, 1988.
- PAULINO, P. V. R.; DUARTE, M. S. **Brazilian beef production. Beef cattle production and trade**. Australia: CSIRO, 2014.
- POWELL, T. H.; HUNT, M. C.; DIKEMAN, M. E. Enzymatic assay to determine collagen thermal denaturation and solubilization. **Meat Science**, Amsterdam, v. 54, n. 4, p. 307–311, 2000.
- 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**, Cary, v. 80, n. 12, p. 3211–3221, 2002.
- PURSLOW, P. P.; ARCHILE-CONTRERAS, A. C.; CHA, M. C. Meat science and muscle biology symposium: manipulating meat tenderness by increasing the turnover of intramuscular connective tissue. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 90, n. 3, p. 950–959, 2012.
- RAUW, W. M.; GOMEZ-RAYA, L. Genotype by environment interaction and breeding for robustness. **Frontiers in Genetics**, Lausanne, v. 6, p. 1–15, 2015.
- RANVIER, L. 1873. Propriétés et structures différentes des muscles rouges et des muscles blanc, chez les lapins et chez les raises. *C R hepd Séanc Acad Sci (Paris)* 77, 1030–1043.
- RILEY, D. G.; JOHNSON, D. D.; CHASE, Jr., C. C.; WEST, R. L.; COLEMAN, S. W.; OLSON, T. A.; HAMMOND, A. C. Factors influencing tenderness in steaks from Brahman cattle. **Meat Science**, Amsterdam, v. 70, p. 347–356, 2007.
- RIZOLO, A. O. P. A alimentação saudável e a promoção da saúde no contexto da segurança alimentar e nutricional. **Saúde em Debate**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 70, p. 125–139, 2005.
- RENAND, G. et al. Relationships between muscle characteristics and meat quality traits of young Charolais bulls. **Meat Science**, Amsterdam, v. 59, n. 1, p. 49–60, 2001.
- RHODES, D. N.; DRANSFIELD, E. Mechanical strength of raw beef from cold-shortened muscles. **Journal of Science of Food and Agriculture**, Oxford, v. 25, p. 1163–1164, 1974.
- ROZALINO SANTOS, M. E. et al. Produção de bovinos em pastagens de capim-braquiária diferidas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 635–642, 2009.
- RULE, D. C.; MACNEIL, M. D.; SHORT, R. E. Influence of sire growth potential, time on feed, and growing-finishing strategy on cholesterol and fatty acids of the ground carcass and longissimus muscle of beef steers. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 75, n. 6, p. 1525–1533, 1997.
- SAINZ, R. D.; ARAUJO, F. R. C. Tipificação de carcaças de bovinos e suínos. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA E TECNOLOGIA DE CARNE, 1., 2001, São Pedro. **Anais...** Campinas: Centro de Tecnologia de Carnes do Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2001. p. 22–25.

SANDLAND, R. L. Mathematics and the growth of organisms – some historical impressions. **The Mathematical Scientist**, Sheffield, v. 8, p. 11-30, 1983.

SANTANA, M. L.; ELER, J. P.; BIGNARDI, A. B.; FERRAZ, J. B. S. Genetic associations among average annual productivity, growth traits, and stayability: A parallel between Nelore and composite beef cattle. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 91. n. 6, p. 2566–2574, 2013.

SANTOS-SILVA, J.; MENDES, I. A.; BESSA, R. J. B. The effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs. 1. Growth, carcass composition and meat quality. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 76, n. 1–2, p. 17–25, 2002.

SANTOS, R. Os cruzamentos na pecuária tropical. In: _____. **Edição comemorativa de 100 anos de pesquisas oficiais sobre cruzamentos (1899- 1999)**. Uberaba: Agropecuária Tropical, 1999. 672 p.

SAÑUDO, C. et al. Fatty acid composition and sensory characteristics of lamb carcasses from Britain and Spain. **Meat Science**, Amsterdam, v. 54, n. 4, p. 339–346, 2000.

SCHMALBRUCH, H.; LEWIS, D. M. Dynamics of nuclei of muscle fibers and connective tissue cells in normal and denervated rat muscles. **Muscle Nerve**, New York, v. 23, n. 4, p. 617-626, 2000.

SILVA, J. et al. Effect of different selection criteria on performance, carcass and meat quality of nelore young bulls. **Agriculture**, Basel, v. 294, p. 1-10, 2021.

SILVA, L. H. P. et al. Effect of post-weaning growth rate on carcass traits and meat quality of Nelore cattle. **Meat Science**, Amsterdam, v. 123, p. 192–197, 2017.

SILVA, M. D. P.; CARVALHO, R. F. Mecanismos celulares e moleculares que controlam o desenvolvimento e o crescimento muscular. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, p. 21-31, 2007 .

SCHIAFFINO, S.; MAMMUCARI, C. Regulation of skeletal muscle growth by the IGF1-Akt/PKB pathway: Insights from genetic models. **Skeletal Muscle**, London, v. 1, n. 1, p. 1–14, 2011.

SCHIAFFINO, S.; REGGIANI, C. Molecular diversity of myofibrillar proteins: gene regulation and functional significance. **Physiological Reviews**, Washington, v. 76, n. 2, p. 371–423, 1996.

SCOLLAN, N. et al. Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. **Meat Science**, Amsterdam, v. 74, n. 1, p. 17–33, 2006.

SCOTT, W.; STEVENS, J.; BINDER-MACLEOD, S. A. Human skeletal muscle fiber type classifications. **Physical Therapy**, Alexandria, v. 81, n. 11, p. 1810-1816, 2001.

- SJÖSTRÖM, M.; SQUIRE, J. M. Fine structure of the A-band in cryo-sections. The structure of the A-band of human skeletal muscle fibres from ultra-thin cryo-sections negatively stained. **Journal of Molecular Biology**, Amsterdam, v. 109, n. 1, p. 49–68, 1977.
- SMITH, S. B. et al. Adiposity, fatty acid composition, and delta-9 desaturase activity during growth in beef cattle. **Animal Science Journal**, Tokyo, v. 77, n. 5, p. 478–486, 2006.
- STARON, R. S.; PETTE, D. The continuum of pure and hybrid myosin heavy chain-based fibre types in rat skeletal muscle. **Histochemistry**, Berlin, v. 100, n. 2, p. 149–153, 1993.
- STOCKDALE, F. E. Myogenic cell lineages. **Developmental Biology**, London, v. 154, n. 2, p. 284–298, 1992.
- SCHULTZ, E.; McCORMICK, K. M. Skeletal muscle satellite cells. **Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology**, Berlin, v. 123, p. 213–257, 1994.
- TAKALA, T. E.; VIRTANEN, P. Biochemical composition of muscle extracellular matrix: The effect of loading. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, Copenhagen, v. 10, n. 6, p. 321–325, 2000.
- TALMADGE, R. J.; ROY, R. R.; EDGERTON, V. R. Muscle fiber types and function. **Current opinion in rheumatology**, Philadelphia, v. 5, n. 6, p. 695–705, 1993.
- TANABE, R. I.; MUROYA, S.; CHIKUNI, K. Sequencing of the 2a, 2x, and slow isoforms of the bovine myosin heavy chain and the different expression among muscles. **Mammalian Genome**, New York, v. 9, n. 12, p. 1056–1058, 1998.
- THERKILDTSEN, M. Muscle protein degradation in bull calves with compensatory growth. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 98, n. 3, p. 205–218, 2005.
- TONISSI, B. E. et al. Análise de comprimento de sarcômero da carne de animais da raça Nelore. In: JORNADA CIENTÍFICA - EMBRAPA SÃO CARLOS, 3., 2011, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 25.
- TORRESCANO, G.; SÁNCHEZ-ESCALANTE, A.; GIMÉNEZ, B.; RONCÁLES, P.; BELTRAN, J. A. Shear values of raw samples of 14 bovine muscles and their relation to muscle collagen characteristics. **Meat Science**, Amsterdam, v. 64, p. 85–91, 2003.
- TOTLAND, G. K.; KRYVI, H.; SLINDE, E. Composition of muscle fibre types and connective tissue in bovine M. semitendinosus and its relation to tenderness. **Meat Science**, Amsterdam, v. 23, n. 4, p. 303–315, 1988.
- VALADARES FILHO, S. C. et al. **Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados - BR-CORTE**. 3. ed. Viçosa: UFV, DZO, 2016.
- VAN MELIS, M. H.; RIBEIRO, S. Selecionando para desempenho: peso e ganho de peso. TURCO, C. P. P. (org.). **Melhoramento genético ao alcance do produtor**. Bebedouro, 2006.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. Corvallis, Oregon: O. and B.Books, Inc, 1982.

VELLEMAN, S. The role oh the extracellular matrix in skeletal muscle development. **Poultry Science**, Ithaca, v. 78, p. 778-784, 1999.

WALDMAN, R. C.; SUESS, G.; BRUNGARD, V. Fatty acids of certain bovine tissue and their association with growth, carcass and palatability traits. **Journal of Animal Science**, Cary, v. 27, n. 3, p. 632-635, 1968.

WILLIAMSON, A. K. et al. Tensile mechanical properties of bovine articular cartilage: Variations with growth and relationships to collagen network components. **Journal of Orthopaedic Research**, New York, v. 21, n. 5, p. 872-880, 2003.

WOOD, J. D. et al. Effects of fatty acids on meat quality: A review. **Meat Science**, Amsterdam, v. 66, n. 1, p. 21-32, 2004.

YAN, X. et al. Developmental programming of fetal skeletal muscle and adipose tissue development. **Journal of Genomics**, Sydney, v. 1, p. 29-38, 2013.

YIN, T.; KÖNIG, S. Genomic predictions of growth curves in Holstein dairy cattle based on parameter estimates from nonlinear models combined with different kernel functions. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 103, n. 8, p. 7222-7237, 2020.

YOKOO, M. J. I. et al. Correlações genéticas entre escores visuais e características de carcaça medidas por ultrassom em bovinos de corte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 44, n. 2, p. 197-202, fev. 2009.

ZHU, M. J. et al. Maternal nutrient restriction affects properties of skeletal muscle in offspring. **Journal of Physiology**, Oxford, v. 575, n. 1, p. 241-250, 2006.

CAPÍTULO II
Artigo a ser submetido para a revista científica Meat Science

EFEITO DO GANHO DE PESO NAS FASES PRÉ E PÓS-DESMAME EM
CARACTERÍSTICAS DE CARCAÇA E QUALIDADE DE CARNE DE BOVINOS
NELORE

Effect of weight gain during pre and post-weaning phases on carcass and meat quality traits in Nellore cattle

T.R. Amorim¹, A. M. Ferrinho¹, L.F. Mueller¹, J.L. Gemelli¹, T.S. Martins², I.H. S. Fuzikawa¹, G. V. Moura¹, J. A. Muñoz¹, P. L. Matioli², R.R.P. Corte¹, M. P. Berton³, M.D. Poleti¹, R. Espigolan¹, F. Baldi³, A.S.C. Pereira^{1,2a}

¹*Faculty of Animal Science and Food Engineering - University of São Paulo, USP, Pirassununga, SP, 13635-900, Brazil.*

²*Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science - University of São Paulo, USP, Pirassununga, SP, 13635-900, Brazil.*

³*Faculty of Agricultural and Veterinary Sciences - São Paulo State University, UNESP, Jaboticabal, SP, 14884-000, Brazil*

^aCorresponding author: Angélica Simone Cravo Pereira. E-mail: angelpereira@usp.br

Present address: Meat Science Laboratory: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Duque de Caxias, 225, Jardim Elite, Pirassununga, SP, 13635-900, Brazil

HIGHLIGHTS

1. Higher post-weaning weights improved animals' final weight.
2. Animals with higher gain in pre-and post-weaning phases showed better results in sarcomere length.
3. The animals' meat with higher gains in the post-weaning phase demonstrated more CLA, PUFA, and health index favorable for human health.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effect of high (H) and low (L) weight gain rate during pre (PREW) and post-weaning (PROW) period on carcass and meat quality traits of 286 Nellore bulls (N) finished in feedlot. The animals were finished in the feedlot for 90 days with the same diet until the average final weight of 580 ± 65.17 Kg. The weight gain rate was calculated by adjusting the weight gain from 120 to 240 days of age and from 240 days to 450 days of age for pre- and post-weaning, respectively. Animals were classified as high or low if their weight gain was above or below the average within each group, respectively. The weight gain rate for PREW_L, PREW_H, PROW_L, and PROW_H were 67.87 ± 9.57 kg, 71.65 ± 7.21 kg, 119.40 ± 43.46 kg, and 137.31 ± 40.41 kg, respectively. The weight gain rate influenced Final Body Weight (FBW), hot carcass weight (HCW), dressing percentage (DP), sarcomere length (SL) and the some fatty acid profile (FA) ($P \leq 0.05$). Our results show no differences in the pH_{24h}, ribeye area (REA), marbling (MARM), cooking losses (CL), shear force (WBSF), meat color (color), and total lipids (LT). The weight gain rate improved carcass traits, SL and FA, suggesting that PROW_H animals' meat is favorable for human health, and it may attend the consumers and beef industry demand for high-quality products.

KEYWORDS: *Bos indicus*, growing phases, fatty acid composition, alfa-linolenic acid, conjugated linoleic acid

INTRODUCTION

Growth traits are a direct reflection of animals' management during their life. The growth phenomenon involves dynamic changes in various organs and tissues as the animal ages, influencing important traits such as meat quality in beef cattle (GREENWOOD & CAFE, 2007). In beef cattle herds, animal growth is generally assessed by measuring weights at standard ages or weight gains at certain time intervals. Therefore, growth traits are an useful tool in breeding programs as selection criteria for meat quality traits due to the facility in collecting and measuring phenotypes in the field. Beef cattle selection criteria are based on economically important traits such as weaning weight, yearling weight, pre-weaning gain, post-weaning gain, or carcass quality (ALBERTÍ et al., 2008; MANDELL et al., 1997). Like most traits of economic interest in animal production, the composition of production and meat quality traits are influenced by environmental and genetic factors, differences in these factors may affect those traits. (ALBERTÍ et al., 2008).

Brazil's production system is predominantly extensive, the feeding of the animals is exclusively on pasture, which means that there are variations in the nutritional quality of the food throughout the year in tropical environments, which could influence the animal's growth and the meat quality if supplementation is not offered (FERRINHO et al., 2019; PORDOMINGO et al., 2012; SILVA et al., 2017, 2020). In this sense, the quality and availability of forage and diet supplementation can affect the cattle development during pre- and post-weaning phases influencing the quality of the final product. Additionally, the dam's lactational performance and their nutritional status before and after calving can influence the pre-weaning performance of calves (GREENWOOD & CAFE, 2007). Also, the post-weaning growing phase allows carcass development before the accumulation on diet in the finishing

phase (SILVA et al., 2017).

Several authors studied growth rate approaches in pre-weaning (BERG; ANDERSEN; LIBORIUSSEN, 1978; CASTRO et al., 2017), and post-weaning phases (FERRINHO et al., 2019; SILVA et al., 2017, 2020) as well as gain rate, meat quality traits, and fatty acid profile in *Bos indicus* (ABOUJAOUDE et al., 2018; CHIAIA et al., 2017; FEITOSA et al., 2017; LEMOS et al., 2016; OLIVIERI et al., 2020) as selection criteria, concluding that genetic information can assist in improving fatty acids profile and meat quality in Zebu cattle. In this sense, the aim of this study was to evaluate the effect of different weight gain rates in pre-weaning phases and post-weaning on carcass, meat quality, and fatty acids traits in Nellore cattle finished in feedlot.

MATERIAL AND METHODS

The procedures were approved by the Ethics Committee on Animal Use (CEUA) from the Faculty of Animal Science and Food Engineering of the University of São Paulo (Protocol number 2884090518), Pirassununga, Sao Paulo, Brazil.

Animals and management

Phenotypic and genealogical information of 286 animals was provided by three farms participating of the National Association of Breeders and Researchers (ANCP), Ribeirão Preto, São Paulo, Brazil. The Nellore bulls were raised on a pasture system, with stocking varying from 1.2 to 1.6 animal units by hectare. The animals' diet was comprised by *Brachiaria sp* and *Panicum sp* forages and mineral salt *ad libitum*. During the finishing phase, the roughage: concentrate ratio varied between 50:50 to 30:70, depending on the farm. The diet consisted of silage of whole corn or sorghum plant as high-quality roughage, corn grains and/or ground sorghum as the energetic concentrate and soybean as protein concentrate. The bulls were vaccinated initial finishing phase using a subcutaneous injection of ivermectin (Ivomec

1%, Merial, Paulínia, SP, Brazil). After yearling, the animals remained in the feedlot until reaching the slaughter weight (580 ± 65.17 kg).

The growth rate was measured at 240 days of age during the pre-weaning phase (PREW), and at 450 days of age during the post-weaning phase (PROW). PREW growth rate was obtained through the difference between the adjusted weight at 240 and 120 days of age. At the PREW phase, the animals were separated into low (PREW_L) and high (PREW_H) weight gain rate. The PROW growth rate was calculated by the difference between the adjusted weight at 450 and 240 days of age. After reaching the post-weaning phase, the animals were reclassified into low (PROW_L) and high (PROW_H) weight gain rate. Further, the animals were separated into four groups, considering their growth phase and the gain weight rate.

For carcass and meat quality analysis we used a total of 46 animals (PREW_L=26, PREW_H=20, PROW_L=30, and PROW_H=16) with an average live weight at yearling of 321 ± 49.537 kg. The age of the animals at the end of the experiment was 24 months. We selected animals by considering the extreme performance values within the groups to be finished in the feedlot and then slaughtered. The PREW_L presented a weight gain rate of 67.87 ± 9.576 kg, PREW_H = 71.65 ± 7.213 kg, and PROW_L = 119.40 ± 43.460 kg, PROW_H = 137.31 ± 40.417 kg.

Slaughter, deboning, and sampling

Animals were transported by truck to a Federal Inspected commercial slaughterhouse (SIF 1646), which is approximately 282 kilometers away from the farm. The slaughter was carried out according to the Humanitarian Slaughter Guidelines, as required by Brazilian law, following the standards of the Regulation of Industrial and Sanitary Inspection of Products of Animal Origin - RIISPOA (BRASIL, 2017) and the Technical Regulation of Stunting Methods for Humane Slaughter of Butchery Animals (BRASIL, 2000). Before slaughter, animals were submitted to a 16h feed-restriction fasting period, with free access to water.

Carcass traits

Immediately after slaughter, recorded the hot carcass weight (HCW, kg), and the dressing percentage (DP, %), was calculated by dividing HCW by the shrunk animal live weight and expressed as a percentage. The carcasses were cooled between 0° - 2 °C, for 24 hours. The pH was measured through a digital pH meter (Hunter Lab®, model MiniScan EZ), and for the rib eye area (cm²) was measured using a 1cm² rib eye grid. Fat thickness (mm) was assessed with a 6” digital caliper (Amatools®, Model ZAAS Precision, Piracicaba, SP, Brazil). Marbling scores were assigned following the methodology described by AMSA (AMERICAN MEAT SCIENCE ASSOCIATION (AMSA), 2013a, 2013b), classifying the meat samples within six categories: slight, small, modest, moderate, slight abundant, and moderately abundant.

After removing the 2.54-cm thick steaks from the *longissimus thoracis* (LT) muscle, the between 12th and 13th ribs of the left half-carcasses of each animal were vacuum-packed individually in polyethylene bags (Cryovac®, Charlotte, NC). We used these samples to determine meat color, cooking loss (CL), and shear force (WBSF) (at 7 days of aging at 2°C), sarcomere length (SL), and fatty acid profile (FA) as described below.

Meat qualitative measurements

Meat Color

Meat color was measured triplicated on each steak using a portable colorimeter Minolta (Model CM2500d; Minolta Camera Co. Ltd., Osaka, Japan) with D65 light source, 10° observation angle, and opening of the measuring cell of 30 mm. Once we removed the samples from the vacuum packages, we kept it at a controlled temperature (0 to 2°C) and then exposed to oxygen for 30 minutes as described in the AMERICAN MEAT SCIENCE ASSOCIATION (AMSA, 2012). The **L ***, **a ***, **b *** values were recorded, where L * is associated with luminosity (L * = 0 black, 100 white), a * is associated to redness (green (-) to red (+)) and b *, is associated to yellowness (blue (-) to yellow (+)) (CIE., 1986).

Warner Bratzler Shear Force (WBSF) and Cooking Losses (CL)

After thawing (4 °C) for 24 h, sample were frozen steak 2,54 cm were age for 7 days (0 - 2°C). Subsequently, steaks were roasted in an electric oven (Model F130 /L - Electric Ovens Flecha de Ouro Ind. E Com. Ltda, São Paulo, Brazil) at 180 °C, until the internal temperature reached 72 °C, measured by a digital thermometer, as previously described by AMSA (AMSA, 2013). To obtain the cooking losses, we weighed the steaks before and after cooking. The losses were expressed as a percentage of the steak weight before each procedure. The cooked steaks were individually wrapped in plastic film and cooled for 48 hours at 4 °C, before WBSF determination.

On the next day, we removed six cylinders parallel to the muscle fibers of each sample (1.27 cm in diameter) with a bench drill (Ferrari FG13- 350W). The shear force was performed on the Brookfield® CT-3 Texture Analyzer Texturometer equipment (Brookfield, USA), equipped with a Warner-Bratzler triangular blade, according to the methodology proposed by Wheeler et al. (2001). The average shear force of the six cylinders was calculated and expressed in Newton (N). The **cooking losses (CL)** was expressed as a percentage, as follows:

$$\text{CL} = [(\text{CL initial}-\text{CL final}) / \text{CL initial}] \times 100$$

where CL initial is the raw weight of the sample, and the CL final is the weight of the sample after cooking.

Sarcomere length (SL)

Sample preparation for sarcomere length analysis was performed on raw steak samples according to the method described by Koolmees (1986). For the analysis, six 13 mm cylinders were used from each steak. The cylinders were removed with an electric, from which six fibers were selected per cylinder, and a sarcomere was measured per fiber. Thus, thirty-six sarcomeres were measured per sample. The SL analysis was performed using the laser diffraction method,

using the Helium-Neon Laser model 05-LHR- 021 (Melles Griot, Carlsbad, CA, USA) with a wavelength 632-8 nm as described by Cross et al. (1981).

Total lipids (TL) and fatty composition (FA)

Total lipids were determined in fresh samples following the methodology of Bligh & Dyer (1959) in duplicates. Meat fatty acids (FA) were extracted from intramuscular fat (IMF) of the *longissimus thoracis* muscle as described by Folch et al. (1957), while methyl esters were formed according to Kramer et al. (1997). The FA were quantified by gas chromatography (GC-2010 Plus AOC 20i auto-injector, Shimadzu, Kyoto, Japan) with an SP-2560 capillary column (100 m x 0.25 mm I.D. x 0.02 mm, Supelco, Bellefonte, PA). The initial temperature of 70 °C was gradually increased to 175 °C (13 °C/min) and maintained for 27 min, with a subsequent increase to 215 °C (4 °C/min) and maintained for 31 min, using hydrogen (H₂) as carrier gas flowing at 40 cm³/s. The temperature used by flame ionization detector (FID) was 250 °C, H₂ flow of 40 ml/min, an airflow of 400 mL/min, Make-up of 30 mL/min kPa (N₂), and sampling rate of 40 msec. The total running time of each sample (stop time) was 86 minutes.

FA were identified by comparing the retention time of sample methyl esters with the FA standard C4-C24 (F.A.M.E mix Sigma®) and GLC 463 Reference Mixture Nu Check, vaccenic acid C18:1 trans-11 (V038-1G, Sigma®) C18:2 trans-10 cis-12 (UC-61M 100mg), CLA and C18:2 cis-9, trans-11 (UC- 60M 100mg), (Sigma®), tricosanoic acid (Sigma®), and nonadecanoic acid (Sigma®). FAs were quantified by normalizing the area under the curve of methyl esters using the GS 2.42 software. FA contents were expressed as a percentage of total FA methyl ester quantified. The $\Delta 9$ desaturase activity was calculated according to ALDAI et al. (2006), as follows:

$$\Delta 9 \text{ desaturase } 14 = (100 * (14:1 \text{ cis}9 / (14:1 \text{ cis}9 + 14:0)));$$

$$\Delta 9 \text{ desaturase } 16 = (100 * (16:1 \text{ cis}9 / (16:1 \text{ cis}9 + 16:0)));$$

$$\Delta 9 \text{ desaturase } 18 = (100 * (18:1 \text{ cis}9 / (18:1 \text{ cis}9 + 18:0))).$$

The indices related to human health and nutritional quality of lipids were calculated according to SANTOS-SILVA et al. (2002), ULBRICHT & SOUTHGATE (1992), and ZHANG et al. (2008), as follows:

$$\text{Health Index (IS)} = (\text{MUFA} + \text{PUFA}) / (4 * 14:0 + 16:0);$$

$$\text{Atherogenic Index (IA)} = (12:0 + (4 * 14:0) + 16:0) / (\Sigma n6 + \Sigma n3 + \Sigma \text{MUFA});$$

$$\text{Thrombogenic Index (n3/n6) (IT)} =$$

$$(14:0 + 16:0 + 18:0) / ((0,5 * \Sigma \text{MUFA}) + (0,5 * \Sigma n6) + (3 * \Sigma n3) + n3/n6);$$

$$\text{Hipocholesterolaemic/ Hypercholesterolaemic (H/h)} = (18:1 \text{ n9cis} + 18:2 \text{ n6cis} + 20:4 \text{ n6} + 18:3 \text{ n3} + 20:5 \text{ n3} + 22:5 \text{ n3} + 22:6 \text{ n3}) / (14:0 + 16:0).$$

Statistical analysis

In order to determine a better representativeness of the treatments, we take advantage of the structure already existing in breeding programs for large populations and consider all the 286 contemporary animals that compose the 20 CG at weaning (CGW) and yearling (CGY) found in the ANCP breeding program database. The CGW consisted of animals belonging to the same farm, year of birth, management group at weaning and sex, and the CGY contained animals belonging to the same farm, year of birth, management group at yearling and sex.

The data from 46 animals, male uncastrated, were analyzed using the PROC MIXED procedure of the SAS program (SAS INSTITUTE INC., CARY, NC, 2017), considering the following model:

$$y = \mu + \alpha + l + (\alpha l) + \text{Sire} + e,$$

where y was the vector of phenotypic observations; μ was the overall mean; α corresponded to the treatment effect on pre-weaning phase; λ was the treatment effect on post-weaning phase; $(\alpha\lambda)$ corresponds to the effect of the interaction between treatments; Sire is a random effect of the sire (bulls), and was a vector of random residuals. The adjusted means were compared using the Tukey test at a 5% significance level.

We used the PROC MEANS procedure of the SAS program (SAS INSTITUTE INC., CARY, NC, 2017) to calculate the descriptive statistics.

RESULTS AND DISCUSSION

Carcass traits

The carcass traits evaluated were: hot carcass weight (HCW), dressing percentage (DP), pH, ribeye area (REA), fat thickness (FT), and marbling score (MARB). The weight gain rate, affected significantly ($P < 0.05$) the variables HCW, DP, and FT (Table 1). The high selection for weight gain rate seemed to exert a preferential effect on faster-growing depots resulting in differences at equal weights of fat (BERG; ANDERSEN; LIBORIUSSEN, 1978).

[Insert Table 1 here]

The higher weight gain rate provided better values of HCW in both PREW and PROW ($P < 0.05$, Table 2). In the present study, the average HCW in PROW_H was 335.87 ± 9.038 , kg. However, our findings are on average lower than those reported in Silva et al. (2017), 280 ± 6.89 kg, with a weight of 480 kg from post-weaning in Nellore. Additionally, other studies reported differences in HCW, and growth rate for the phases PREW and PROW (TONUSSI et al., 2015). Thus, in the present study, animals' with greater weight gain suggests that they presented greater protein turnover and greater muscle mass content.

We observed a difference in DP between the high and low group of weight gain rate at PREW ($P = 0.005$). The PREW_H presented higher DP than PREW_L (56.07 ± 0.422 % and 54.26 ± 0.448 %, respectively). The higher DP in PREW_H would be associated to greater

potential for muscle development throughout their life. Berg; Andersen; Liboriussen, 1978 reported that carcasses should yield a high proportion of muscle, a low proportion of bone, and sufficient fat to satisfy local market requirements. Therefore, the DP was considered a major determinant of live cattle price at a given live weight.

The pH is an important meat quality parameter as it can influence color, water holding capacity, tenderness, among other factors. The ultimate pH of the muscle is responsible for how much water will be lost during cooking (CL). When there is a rapid drop in pH, the loss of water in cooking is greater, which influences meat tenderness directly (MILLER, 2007). In our study, the weight gain rate in phases PREW and PROW did not influence ($P > 0.050$) the pH (Table 1). The pH values were within the normal range for beef according to the literature, since the pH range of "normal" meat of an unstressed animal range from 5.4 to 5.7 (MILLER, 2007).

The average REA was not significantly different ($P < 0.05$) for weight gain rate in contrasting phases. Consistent with our results, Silva et al. (2017) reported no differences in the REA from post-weaning Nellore animals finished in feedlot. FT has a significant role in reducing cold shortening during the beef chilling process, and it can function as carcass protection against water loss (SAVELL; MUELLER; BAIRD, 2004). Similar to our results, a study carried out by Christian et al (1959) on calves that had been slaughtered at a constant weight, showed that fat thickness over the 12 th rib was not associated significantly with weaning weight.

The deposition of intramuscular fat increases linearly from 200 to 400 kg (Pethick et al. 2004). Using nutritional strategies, it is possible to anticipate and/or change the pattern of intramuscular fat deposition. Pethick et al. (2004) emphasized that animals finished in pastures present less deposition of intramuscular fat when compared to animals finished in feedlots. This happens because animals finished under grazing conditions have lower energy intakes levels and in turn a large intestine, which leads to a greater energy demand for maintenance and less

availability of net energy for weight gain. Therefore, a period in a feedlot is the main strategy for increasing marbling, because the feedlot system provide greater energy concentration in the diet allowing high rates of weight gain. In our study, no differences ($P > 0.05$) were observed in the marbling scores between the weight gain rate for the PREW and PROW. Intramuscular fat is the last fat that is deposited in a living animal (BERG; BUTTERFIELD, 1976). Probably, Nellore bulls averaging of 24 months old, may not result present in muscular fat deposition. In this sense, the study of PFLANZER AND DE FELÍCIO (2011) reported no differences in the marbling score in Nellore steers varying in maturity.

Meat quality

Studies related to meat quality in Nellore cattle are constantly developing. However, associating muscle growth measurement with weight gain in the initial and intermediate phases are quite unprecedented. The present study shows that animals with higher muscle growth in PREW and PROW did not show a significant difference for the WBSF, CL, and meat color (Table 1) ($P > 0.05$). According to Koohmaraie et al. (2002), muscle hypertrophy is stimulated by androgens to increase the protein synthesis. The slaughter age influences beef tenderness to a greater extent than the growth rate, and in our study, the weight gain rate had no effect ($P > 0.05$) on WBSF meat. However, it was observed an interaction between PREW x PROW ($P = 0.034$) for SL (Table 1). Purchas et al. (2002) did not report the influence of growth potential or growth path on meat tenderness of Angus bulls at 18 months of age. We break down the interaction values can be explained by differences in carcass cooling, and larger sarcomere size, greater calcium release in the reticulum, greater distance from the Z disk (Figure 4). Animals with PREW_H and PROW_H had the better results for SL ($1.7 \pm 0.045 \mu$). Bruce et al. (2004), in a study evaluating Brahman steers finished in a feedlot, found an average of $2.04 \pm 0.05 \mu$ for SL. These authors suggested that the SL was shortened due to the rapid chilling. In a recent publication, Holman et al. (2020) demonstrated that beef with a sarcomere length $< 1.98 \mu$

would be considered tender by consumers.

No difference ($P > 0.05$) in meat color parameters were observed in PREW and PROW that could be explained by the little variation in the age of the animals. Consistent with our results, Silva et al. (2017) reported no differences in the beef color after the finishing phase. The finishing phase in the feedlot can be an alternative to minimize negative effects that may affect the quality of the meat. Its key factor is the efficiency in weight gain in a short period, of time allowing the animals to reach the weight of slaughter faster. With this, it is possible not only to achieve better levels of meat quality but also to generate better remuneration for the producers.

Fatty acids

The gain rate in PREW and PROW phases did not influence the total lipids concentration ($P > 0.05$) (Table 2). This result could be explained by the a low-fat deposition that occurs in our study - both phases did not exceed 2% of total lipids. Zebu cattle is known for its low fat deposition (ROTTA et al., 2009), since muscles from Nellore cattle are considered leaner than others breeds due it to its low marbling score (MOREIRA et al., 2003), which represents a healthier meat product to humans (SAUCIER, 1999). Consistent with the present study, Antonelo et al. (2020), and Costa et al. (2020) observed values $<2\%$ of lipids in the meat of non-castrated Nellore animals. Additionally, Prado et al. (2009) reported 0.91% of total lipids in the meat from Nellore bulls. Therefore, the authors explained that the low-fat content observed in bulls is due to a higher capacity of muscle growth, consequently, a smaller content of intramuscular fat.

[Insert table 2]

The weight gain rate affected the concentration of some saturated fatty acids (FA) (Table 2). There was a difference in the total of SFA for the PROW period ($P = 0.013$; Table 3). Where

PROW_H group presented a greater concentration of total SFA ($41.05 \pm 1.035\%$) compared to PROW_L ($37.58 \pm 0.776\%$). Beef from PROW_H group showed greater concentrations of hypercholesterolemic fatty acids, such as C14:0 (myristic; $P = 0.013$) and C16:0 (palmitic; $P = 0.030$), and beef from PREW_L presented a greater concentration C16:0 compared to PREW_H (Table 2). In contrast, HUERTA-LEIDENZ et al. (1996) reported that the percentage of C16:0 in adipose tissue remains essentially unchanged during growth. SFA are important to human health because of their hypercholesterolemic effect, increasing level LDL, and total cholesterol in the blood (MICHAS; MICHA; ZAMPELAS, 2014; WOOD et al., 2004).

No difference were found on C18:0 (stearic; $P > 0.05$), between L and H in both phases. The C18:0 is converted into oleic acid (18:1 cis9) and is considered a major dietary MUFA. The reciprocal relationship over time post-weaning between 16:0, 18:0, and 18:1, suggests that fatty acid elongase (which converts 16:0 to 18:0) and fatty acid desaturase (which converts 18:0 to 18:1) become more active during the post-weaning period (HUERTA-LEIDENZ et al., 1996). Also, no difference were observed ($P > 0.05$) on MUFA proportions between phases gain rate (Table 3). The MUFA significantly decreases LDL cholesterol, and the risk of obesity, hypercholesterolemia, and some cancers (MICHAS; MICHA; ZAMPELAS, 2014; TROY; TIWARI; JOO, 2016). In our study, a lower concentration of 18:1 c9 was observed in the meat samples. The weight gain rate did not affect ($P > 0.05$) the activity of the $\Delta 9$ desaturase, which could have contributed to no differences observed in C18:0 concentrations (OLIVEIRA et al., 2014).

In regard to MUFA, C10c-15:1 (10cis-pentadecanoic) showed a greater concentration FA in beef from PROW_L than PROW_H (Table 3). Beef from PROW_H group presented a greater concentration ($P < 0.05$) of 11t- 18:1 (trans vaccenic) and 9t- C18:1 (trans-elaidic, than PROW_L) (Table 3). There was a significant interaction ($P < 0.05$) between PREW x PROW for 11trans vaccenic. Wich is presented on Table 4. The 11trans vaccenic (11t-18:1) is a

biohydrogenation product of 18:2n 6 (WOOD et al., 2004). Thus, 11trans vaccenic is a FA that increased in the weight gain rate in phases studied and has a beneficial potential for human health.

In the present study, there was an interaction effect ($P = 0.017$) (Table 3) between PREW x PROW (Table 4). Before biohydrogenation, triglycerides that reach the ruminal environment are hydrolyzed into fatty acids and glycerol. During the biohydrogenation process, isomeriation reactions convert cis bounds into trans before the beginning of the reduction reactions which add a hydrogen to the double bounds. However, not all PUFA that reach the ruminal environment are biohydrogenated in this process, and part of the intermediate PUFA with trans bounds flows to the duodenum and its deposited in the tissues (Duckett and Gillis, 2010). Thus, a greater amount of intermediate fatty acids escapes from the ruminal biohydrogenation as the dietary substrates for biohydrogenation increases (18:2 and 18:3), leading to an enhancement of CLA accumulation in the IMF (FIORENTINI et al., 2015)

Our study showed no significant differences ($P > 0.05$) on cis-9, trans-11 isomers and 12c10t18:2 between L and H, during PREW and PROW (Table 2). However, there was a significant interaction ($P < 0.05$) PREW x PROW on t10,cis12 CLA isomer (Table 2). This FA has an effect on adipocytes, in particular, reducing the uptake of lipid by inhibiting the activities of lipoprotein lipase and stearoyl-CoA desaturase (PARIZA; PARK; COOK, 2001). Thus, it has been suggested that the overall effects of CLA are the results of interactions between two major isomers, cis-9, trans-11 and trans-10,cis-12, the significant attention for reducing body fat, cardiovascular diseases, cancer, and modulating immune and inflammatory responses, as well as improving bone mass (DILZER; PARK, 2012).

[Insert table 3 here]

In relation to total branched-chain fatty acids (BCFA), beef from PROW_H presented a greater concentration of iso C14:0, iso C15:0 than PROW_L. The BCFA is found in high

concentrations in ruminant products and play a beneficial role against inflammation in the premature intestine, alter the microbiota, and increase expression of anti-inflammatory cytokines in an animal model (EKINE-DZIVENU et al., 2014; RAN-RESSLER et al., 2014).

BCFA may have a beneficial effect on proper gut functions. Thus, their intake in the population becomes relevant (RAN-RESSLER et al., 2014). Therefore, the BCFA concentration may potentiate the growth rate, because this fatty acids are synthesized by rumen microorganisms, therefore its presence in the tissue is likely influenced by the rumen environment (EKINE-DZIVENU et al., 2014). In addition, BCFA play a role in inflammation in the premature intestine, altering the microbiota, and increasing the expression of anti-inflammatory cytokines in animals (EKINE-DZIVENU et al., 2014; RAN-RESSLER et al., 2014).

[Insert table 4 here]

The 22:5n3 fatty acid (EPA-Eicosapentaenoic) showed an interaction ($P < 0.045$) between PREW x PROW groups (Table 2) wich is presented on Table 4. In a similar study, Ferrinho et al. (2019) found a greater concentration of EPA in beef from steers of low gain rate pasture-reared finished feedlot. The author's results also presented a healthier fatty acid profile.

Beef from PROW_L group had higher concentration of PUFA (Table 3), especially 18:2n-6c (linoleic) ($P = 0.034$) and 22:4 n6 (docosatrienoic) ($P = 0.026$) than PROW_H concentration (Table 2). PUFA are associated with physiological maturity, and most of its energy intake is deposited as fat can be related to the gain rate (WALDMAN; SUESS; BRUNGARD, 1968).

The PUFA/SFA ratio (0.32 ± 0.024 %, Table 3) was greater ($P < 0.05$) than PROW_H. According to Scollan et al. (2006), several studies has been performed to increase the proportion of PUFA/SFA ratio, however, the strategies used may cause changes in the n6/n3 ratio, and normally values from 0.10 to 0.15 are observed in beef. PUFA was previously related to carcass

lean weight, cardioprotective effects of UK, and reducing the risk of certain diseases in human (RIEDIGER et al., 2009). The Department of Health recommends a PUFA/SFA ratio values above 0.45 for similar studies found values of 0.35 in Nellore (LEMOS et al., 2016). Which can be explained by the genetic differences in fatty acid metabolism, hence, the PUFA/SFA ratio of beef can drop to a value of 0.05 in fat meat and can rise to > 0.5 in very lean breeds (e.g. double-muscled breeds) (DE SMET; RAES; DEMEYER, 2004). In addition, using very lean animals, the only way to improve the PUFA/SFA ratio in meat from ruminant animals is by preventing ruminal biohydrogenation or by feeding protected PUFA supplements (DE SMET; RAES; DEMEYER, 2004).

The total n6 FA concentrations was lower ($P < 0.05$) in beef from PROW_H than PROW_L, (Table 3). The total n3 FA proportions were different ($P < 0.05$) between L and H in both phases (Table 3). This result is higher compared to ANTONELO et al. (2020) and COSTA et al. (2020) for Nellore cattle with an average value of 1.05 and 1.49 %. However, some traits that are beneficial to human health, such as low content of intramuscular fat and a fatty acids profile with high levels of the n-3 series, and an adequate dietary quality based on the n-6/n-3 and PUFA/SFA ratios (FEITOSA et al., 2017).

Finally, our study showed a better health index and ratio (h/H) of Hypocholesterolemic/Hypercholesterolemic in PROW_L than PROW_H. This result could be explained by the low concentrations of 14:0 and 16:0 in beef from PROW_L than it PROW_H. The thrombogenicity index (TI) and atherogenicity index (AI) presented values of 1.26 ± 0.047 % ($P = 0.014$), and 0.60 ± 0.024 % ($P = 0.018$) for PROW_H. These indices assess the risk of atherosclerosis, considered as an indicator of the impact of fat on the cholesterol concentration due to the ratios of SFA and total unsaturated fatty acids (TROY; TIWARI; JOO, 2016). Carcass traits were improved by the rate of post-weaning weight gain in uncastrated Nellore bulls finished in feedlot. However, there was no change in the tenderness of the meat with low

total lipid content, better CLA concentration and health indices.

CONCLUSION

Meat from animals with high growth rate in the post-weaning phase showed better carcass characteristics, with no change in meat quality. Meat from animals in the post-weaning phase showed the most desirable fatty acid profile for human health.

Acknowledgements

Tamyres Rodrigues de Amorim received a scholarship and this study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001. The authors are grateful to the Brazilian National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) grant# 430817/2016-9, Sao Paulo Research Foundation (FAPESP grant #2011/21241-0), CV Nellore Mocho[®] Sao Paulo/SP-Brazil, the Campina, Terra Boa and Haras Maripa farms for providing the dataset for this research, Nacional Association of Breeders and Researchers (ANCP) breeding program, Ribeirão Preto/SP – Brazil, Postgraduate Program on Animal Science-Faculty of Animal Science and Food Engineering - University of Sao Paulo, USP, Pirassununga/SP-Brazil, Meat Science Laboratory-Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science - University of Sao Paulo, USP-Brazil, Laboratory of Advanced Studies in Meat Science (LEACC)- located at the Faculty of Animal Science and Food Engineering of the University of Sao Paulo -FZEA / USP

Declaration of interest

We certify that there is no conflict of interest with any financial organization regarding the material discussed in the manuscript.

Ethics statement

The procedures were approved by the Ethics Committee on Animal Use (CEUA) from

the Faculty of Animal Science and Food Engineering of the University of Sao Paulo (Protocol number 2884090518), Pirassununga, Sao Paulo, Brazil

REFERENCES

- Aboujaoude, C., Pereira, A. S. C., Feitosa, F. L. B., Antunes De Lemos, M. V., Chiaia, H. L. J., Berton, M. P., Peripolli, E., Silva, R. M. D. O., Ferrinho, A. M., Mueller, L. F., Olivieri, B. F., De Albuquerque, L. G., De Oliveira, H. N., Tonhati, H., Espigolan, R., Tonussi, R., Gordo, D. M., Magalhaes, A. F. B., & Baldi, F. (2018). Genetic parameters for fatty acids in intramuscular fat from feedlot-finished Nelore carcasses. *Animal Production Science*, 58(2), 234–243. <https://doi.org/10.1071/AN16107>
- Albertí, P., Panea, B., Sañudo, C., Olleta, J. L., Ripoll, G., Ertbjerg, P., Christensen, M., Gigli, S., Failla, S., Concetti, S., Hocquette, J. F., Jailler, R., Rudel, S., Renand, G., Nute, G. R., Richardson, R. I., & Williams, J. L. (2008). Live weight, body size and carcass characteristics of young bulls of fifteen European breeds. *Livestock Science*, 114(1), 19–30. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.04.010>
- Aldai, N., Murray, B. E., Oliván, M., Martínez, A., Troy, D. J., Osoro, K., & Nájera, A. I. (2006). The influence of breed and mh-genotype on carcass conformation, meat physico-chemical characteristics, and the fatty acid profile of muscle from yearling bulls. *Meat Science*, 72(3), 486–495. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.08.016>
- American Meat Science Association (AMSA). (2012). *Meat color measurements guidelines handbook*. Champaign, IL: AMSA.
- American Meat Science Association (AMSA). (2013a). *Meat evaluation handbook*. Champaign, IL: AMSA.
- American Meat Science Association (AMSA). (2013b). *Meat evaluation handbook*. Champaign, IL: Beef Grading.
- Antonelo, D. S., Gómez, J. F. M., Goulart, R. S., Beline, M., Cônsolo, N. R. B., Corte, R. R. S., Silva, H. B., Ferrinho, A. M., Pereira, A. S. C., Gerrard, D. E., & Silva, S. L. (2020). Performance, carcass traits, meat quality and composition of non-castrated Nelore and crossbred male cattle fed soybean oil. *Livestock Science*, 236(October 2019), 104059. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104059>
- Berg, R. T.; Butterfield, R. M. New concepts of cattle growth. Sydney, Australia: Sydney University Press, 1976.
- Berg, R. T., Andersen, B. B., & Liboriussen, T. (1978). Growth of bovine tissues: 1. Genetic influences on growth patterns of muscle, fat and bone in young bulls. *Animal Production*,

- 26(3), 245–258. <https://doi.org/10.1017/S0003356100040848>
- Bruce, H. L.; Stark, J. L.; Beilken, S. L. The effects of finishing diet and postmortem ageing on the eating quality of the M. longissimus thoracis of electrically stimulated Brahman steer carcasses. *Meat Science*, Amsterdam, v. 67, n. 2, p. 261–268, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2003.10.014>
- Bligh, E.G. and Dyer, W. J. (1959). *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 37(8).
- Brasil. (2000). *INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 3, DE 17 DE JANEIRO DE 2000 O SECRETARIO DE DEFESA AGROPECUÁRIA DO MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, no uso da atribuição que lhe confere o art. 83, inciso IV, do Regimento Interno da Secretaria, aprovado pela Por. 3–10.* <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/bem-estar-animal/arquivos/arquivos-legislacao/in-03-de-2000.pdf>
- BRASIL. (2017). Decreto 9.013, De 29 De Março De 2017. *DECRETO Nº9.013 de 29 de Março de 2017*, 1–108. <https://www.saude.rj.gov.br/comum/code/MostrarArquivo.php?C=NzU2NQ%2C%2C>
- Castro, L. M., Rosa, G. J. M., Lopes, F. B., Regitano, L. C. A., Rosa, A. J. M., Magnabosco, C. U. (2017). Genomewide association mapping and pathway analysis of meat tenderness in polled nellore cattle. *Journal of Animal Science*, 95(5), 1945–1956.
- Chiaia, H. L. J., Peripoli, E., Silva, R. M. de O., Aboujaoude, C., Feitosa, F. L. B., Lemos, M. V. A. de, Berton, M. P., Olivieri, B. F., Espigolan, R., Tonussi, R. L., Gordo, D. G. M., Bresolin, T., Magalhães, A. F. B., Júnior, G. A. F., Albuquerque, L. G. de, Oliveira, H. N. de, Furlan, J. de J. M., Ferrinho, A. M., Mueller, L. F., ... Baldi, F. (2017). Genomic prediction for beef fatty acid profile in Nellore cattle. *Meat Science*, 128, 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.02.007>
- CIE. (1986). *International Commission on Illumination*. Colorimetry (2nd ed.). Viena, Austria: Central Bureau of the CIE.
- Costa, F. S., Cabral, A. R., Silva, S. L., Silva, M. A. I., Henrique, W., Mazalli, M. R., Baldi, F. S., Mueller, L. F., Ferrinho, A. M., Corte, R. R. P. S., & Pereira, A. S. C. (2020). Effects of n-3 and n-6 feeding sources on the quality and lipid oxidation of meat from feedlot-finished Bos indicus steers. *Meat Science*, 161, 107966. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107966>
- Cross, H. R., West, R. L., & Dutson, T. R. (1981). Comparison of methods for measuring

- sarcomere length in beef semitendinosus muscle. *Meat Science*, 5(4), 261–266. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(81\)90016-4](https://doi.org/10.1016/0309-1740(81)90016-4).
- De Smet, S., Raes, K., & Demeyer, D. (2004). Meat fatty acid composition as affected by fatness and genetic factors: a review. *Animal Research*, 53(2), 81–98. <https://doi.org/10.1051/animres:2004003>
- Dilzer, A., & Park, Y. (2012). Implication of Conjugated Linoleic Acid (CLA) in Human Health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(6), 488–513. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.501409>
- Duckett SK, Gillis MH. 2010. Effects of oil source and fish oil addition on ruminal biohydrogenation of fatty acids and conjugated linoleic acid formation in beef steers fed finishing diets. *Journal of Animal Science*.;88:2684–2691. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2375>
- Ekine-Dzivenu, C., Chen, L., Vinsky, M., Aldai, N., Dugan, M. E. R., McAllister, T. A., Wang, Z., Okine, E., & Li, C. (2014). Estimates of genetic parameters for fatty acids in brisket adipose tissue of Canadian commercial crossbred beef steers. *Meat Science*, 96(4), 1517–1526. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.10.011>
- Feitosa, F. L. B., Olivieri, B. F., Aboujaoude, C., Pereira, A. S. C., de Lemos, M. V. A., Chiaia, H. L. J., Berton, M. P., Peripolli, E., Ferrinho, A. M., Mueller, L. F., Mazalli, M. R., de Albuquerque, L. G., de Oliveira, H. N., Tonhati, H., Espigolan, R., Tonussi, R. L., de Oliveira Silva, R. M., Gordo, D. G. M., Magalhães, A. F. B., ... Baldi, F. (2017). Genetic correlation estimates between beef fatty acid profile with meat and carcass traits in Nellore cattle finished in feedlot. *Journal of Applied Genetics*, 58(1), 123–132. <https://doi.org/10.1007/s13353-016-0360-7>
- Ferrinho, A. M., Peripolli, E., Banchemo, G., Pereira, A. S. C., Brito, G., La Manna, A., Fernandez, E., Montossi, F., Kluska, S., Mueller, L. F., Berchielli, T. T., & Baldi, F. (2019). Effect of growth path on carcass and meat-quality traits of Hereford steers finished on pasture or in feedlot. *Animal Production Science*, 60(2), 323–332. <https://doi.org/10.1071/AN18075>.
- Feitosa FL, Olivieri BF, Aboujaoude C, Pereira AS, de Lemos MV, Chiaia HL, et al. (2017). Genetic correlation estimates between beef fatty acid profile with meat and carcass traits in Nellore cattle finished in feedlot. *Journal Applied Genetics*,58: 123–132. <https://doi.org/10.1007/s13353-016-0360-7>
- Fiorentini, G.; Lage, J.F.; Carvalho, I.P, et al. (2015). Lipid Sources with Different Fatty Acid

- Profile Alters the Fatty Acid Profile and Quality of Beef from Confined Nellore Steers. *Asian-Australas Journal of Animal Science*. 2015;28(7):976-986. doi:10.5713/ajas.14.0893.
- Folch, J., Lees, M., & Sloane Stanley, G. . (1957). *a Simple*. 55(5), 999–1033.
- Greenwood, P. L., & Cafe, L. M. (2007). Prenatal and pre-weaning growth and nutrition of cattle: Long-term consequences for beef production. *Animal*, 1(9), 1283–1296. <https://doi.org/10.1017/S175173110700050X>
- Holman, B.W.B, Collins, D, Kilgannon, A.K, Hopkins, D.L(2020).Using shear force, sarcomere length, particle size, collagen content, and protein solubility metrics to predict consumer acceptance of aged beef tenderness. *Journal Texture Studies.*, 1–8, 10.1111/jtxs.12523
- Huerta-Leidenz, N. O. et al. Fatty acid composition of subcutaneous adipose tissue from male calves at different stages of growth. *Journal of Animal Science*, Cary, v. 74, n. 6, p. 1256–1264, 1996.
- Koolmees, P. A., & Smulders, F. J. M. (1986). *Accuracy and Utility of Sarcomere Length Assessment by Laser Diffraction Follow this and additional works at : <https://digitalcommons.usu.edu/foodmicrostructure> Recommended Citation*. 5(1).
- KOOHMARAIE, M. et al. Meat tenderness and muscle growth: Is there any relationship? *Meat Science*, Amsterdam,v. 62, n. 3, p. 345–352, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00127-4](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00127-4)
- Kramer, J.K.G. Evaluating of milk and rumen fatty acids with special emphasis on conjugated dienes and total trans fatty acids. *Lipids*, Heidelberg, v. 32,p.1219-1228, 1997. <https://doi.org/10.1007/s11745-997-0156-3>
- Lemos, M. V. A., Chiaia, H. L. J., Berton, M. P., Feitosa, F. L. B., Aboujaoud, C., Camargo, G. M. F., Pereira, A. S. C., Albuquerque, L. G., Ferrinho, A. M., Mueller, L. F., Mazalli, M. R., Furlan, J. J. M., Carvalheiro, R., Gordo, D. M., Tonussi, R., Espigolan, R., Silva, R. M. de O., de Oliveira, H. N., Duckett, S., ... Baldi, F. (2016). Genome-wide association between single nucleotide polymorphisms with beef fatty acid profile in Nellore cattle using the single step procedure. *BMC Genomics*, 17(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s12864-016-2511-y>
- Mandell, I. B., Buchanan-Smith, J. G., Holub, B. J., & Campbell, C. P. (1997). Effects of Fish Meal in Beef Cattle Diets on Growth Performance, Carcass Characteristics, and Fatty Acid Composition of Longissimus Muscle. *Journal of Animal Science*, 75(4), 910–919.

- <https://doi.org/10.2527/1997.754910x>
- Michas, G., Micha, R., & Zampelas, A. (2014). Dietary fats and cardiovascular disease: Putting together the pieces of a complicated puzzle. *Atherosclerosis*, 234(2), 320–328. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2014.03.013>
- Miller M. 2007. Dark firm and dry beef. BEEF FACTS Product Enhancement. Available from: <http://fyi.uwex.edu/wbic/files/2011/04/Dark-Firm-and-Dry-Beef.pdf> Accessed 2021 March 4.
- Moreira, F. B., N. E. Souza, M. Matsushita, I. N. Prado and W. G. Nascimento. 2003. Evaluation of carcass characteristics and meat chemical composition of Bos indicus×Bos taurus crossbred steers finished in pasture systems. Brazilian Archives of Biology and Technology, v.46, n.4: 609-616. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132003000400016>
- Olivieri, B. F., Braz, C. U., Brito Lopes, F., Peripolli, E., Medeiros de Oliveira Silva, R., Ruegger Pereira da Silva Corte, R., Albuquerque, L. G. de, Pereira, A. S. C., Stafuzza, N. B., & Baldi, F. (2020). Differentially expressed genes identified through RNA-seq with extreme values of principal components for beef fatty acid in Nelore cattle. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, February, 1–11. <https://doi.org/10.1111/jbg.12483>
- Oliveira, D, Chalfun-Junior, A, Chizzotti, M, Barreto, H, Coelho, T. et al (2014). Expression of genes involved in lipid metabolism in the muscle of beef cattle fed soybean or rumen-protected fat, with or without monensin supplementation. *Journal of Animal Science*, 92 (12), p. 5426-5436
- Pflanzer, S. B., & de Felício, P. E. (2011). Moisture and fat content, marbling level and color of boneless rib cut from Nelore steers varying in maturity and fatness. *Meat Science*, 87(1), 7–11. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.08.009>
- Pethick, D. W., Harper, G. S. & Oddy, V. H. (2004). Growth, development and nutritional manipulation of marbling in cattle: a review. *Animal Production Science*, 44, 705-715. <https://doi.org/10.1071/EA02165>
- Pordomingo AJ, Grigioni G, Carduza F and Volpi Lagreca G 2012. Effect of feeding treatment during the backgrounding phase of beef production from pasture on: I. Animal performance, carcass and meat quality. *Meat Science* 90, 939–946. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.11.036>
- Prado, R. M., Prado, I. N., Marques, J. A., Rotta, P. P., Visentainer, J. V., Silva, R. R., & Souza, N. E. (2009). Meat quality of the Longissimus muscle of bulls and steers (1/2 Nelore vs 1/2 Simmental) finished in feedlot. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 18(2), 221–230.

- <https://doi.org/10.22358/jafs/66386/2009>
- 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*, Cary, v. 80, n. 12, p. 3211–3221, 2002. <https://doi.org/10.2527/2002.80123211x>
- Pariza, M.W, Park, Y, Cook, M.E (2001). The biologically active isomers of conjugated linoleic acid *Progress in Lipid Research.*, 40 pp. 283-298. [https://doi.org/10.1016/S0163-7827\(01\)00008-X](https://doi.org/10.1016/S0163-7827(01)00008-X)
- Ran-Ressler, R. R., Bae, S., Lawrence, P., Wang, D. H., & Thomas Brenna, J. (2014). Branched-chain fatty acid content of foods and estimated intake in the USA. *British Journal of Nutrition*, 112(4), 565–572. <https://doi.org/10.1017/S0007114514001081>
- Rotta, P.R.; Prado, I.N.; Prado, R.M.; Moletta, J.L.; Silva, R.R.; Perotto, D. Carcass Characteristics and Chemical Composition of the Longissimus Muscle of Nellore, Caracu and Holstein-friesian Bulls Finished in a Feedlot, *Asian-Australian of Journal Science*, v. 22, n. 4, 568-604, 2009. <https://doi.org/10.5713/ajas.2009.80538>
- Riediger, N. D., Othman, R. A., Suh, M., & Moghadasian, M. H. (2009). A Systemic Review of the Roles of n-3 Fatty Acids in Health and Disease. *Journal of the American Dietetic Association*, 109(4), 668–679. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2008.12.022>
- Santos-Silva, J., Mendes, I. A., & Bessa, R. J. B. (2002). The effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs. 1. Growth, carcass composition and meat quality. *Livestock Production Science*, 76(1–2), 17–25. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00334-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00334-7)
- Savell, J.W.; Mueller, S.L.; Baird, B.E. The chilling of carcasses. In: 50th International Congress of Meat Science and Technology, Helsinki, Finland, ICoMST 2004, https://digicomst.ie/wp-content/uploads/2020/05/2004_02_02.pdf
- Saucier, L. 1999. Meat safety: challenges for the future. *Outlook on Agriculture*, 28 (2), 77-82. <https://doi.org/10.1177/003072709902800204>
- SAS Institute Inc., Cary, NC, U. (2017). Sas® 9.4. *SAS Institute Inc., Cary, NC, USA*. [https://doi.org/10.1016/0370-2693\(82\)91293-X](https://doi.org/10.1016/0370-2693(82)91293-X)
- Scollan, N. et al. Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Science*, Amsterdam, v. 74, n. 1, p. 17–33, 2006.
- Silva, L. H. P., Paulino, P. V. R., Assis, G. J. F., Assis, D. E. F., Estrada, M. M., Silva, M. C., Silva, J. C., Martins, T. S., Valadares Filho, S. C., Paulino, M. F., & Chizzotti, M. L. (2017). Effect of post-weaning growth rate on carcass traits and meat quality of Nellore

- cattle. *Meat Science*, 123(November), 192–197.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.10.005>
- Silva, L. H. P., Paulino, P. V. R., Benedeti, P. D. B., Estrada, M. M., Alves, L. C., Assis, D. E. F., Assis, G. J. F., Leonel, F. P., Valadares Filho, S. C., Paulino, M. F., & Chizzotti, M. L. (2020). Post-weaning growth rate effects on body composition of Nellore bulls. *Animal Production Science*, 60(6), 852–862. <https://doi.org/10.1071/AN19032>
- Tonussi, R. L., Espigolan, R., Gordo, D. G. M., Magalhães, A. F. B., Venturini, G. C., Baldi, F., de Oliveira, H. N., Chardulo, L. A. L., Tonhati, H., & de Albuquerque, L. G. (2015). Genetic association of growth traits with carcass and meat traits in Nellore cattle. *Genetics and Molecular Research*, 14(4), 18713–18719.
<https://doi.org/10.4238/2015.December.28.20>
- Troy, D. J., Tiwari, B. K., & Joo, S. T. (2016). Health implications of beef intramuscular fat consumption. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 36(5), 577–582.
<https://doi.org/10.5851/kosfa.2016.36.5.577>
- Ulbricht, T. L. V., & Southgate, D. A. T. (1992). Coronary heart disease and dietary factors. *The Lancet*, 339(8799), 987–988. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(92\)91558-P](https://doi.org/10.1016/0140-6736(92)91558-P)
- Waldman, R. C., Suess, G. ., & BRUNGARD, V. . (1968). Fatty Acids of Certain Bovine Tissue and Their Association with Growth, Carcass and Palatability Traits. *Journal of Animal Science*, 27(3), 632–635.
- Wheeler, T. L., Shackelford, S. D., & Koohmaraie, M. (2001). *Shear Force Procedures for Meat Tenderness Measurement* (Roman L. Hruska U. S. Meat Animal Research Center (ed.)). Agricultural Research Service United States Department of Agriculture Clay Center, NE 68933 USA.
- Wood, J. D., Richardson, R. I., Nute, G. R., Fisher, A. V., Campo, M. M., Kasapidou, E., Sheard, P. R., & Enser, M. (2004). Effects of fatty acids on meat quality: A review. *Meat Science*, 66(1), 21–32. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00022-6](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00022-6)
- Zhang, S., Knight, T. J., Reecy, J. M., & Beitz, D. C. (2008). DNA polymorphisms in bovine fatty acid synthase are associated with beef fatty acid composition. *Animal Genetics*, 39(1), 62–70. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2007.01681.x>.

Table 1 - Carcass traits and meat quality from *longissimus thoracis* of feedlot Nellore cattle with high and low gain rate in the pre and post-weaning phases

Variable	PREW ¹		PROW ²		P-value		
					PREW ¹	PROW ²	PREW ¹ xPROW ²
	L ³	H ⁴	L ³	H ⁴			
FBW, kg	568.15±15.006	594.84±14.120	560.44±12.847	605.55±16.178	0.138	0.030	0.137
HCW, kg	308.77±8.354	334.91±7.871	307.81±7.112	335.87±9.038	0.025	0.018	0.173
DP, %	54.26±0.448	56.07±0.422	54.88±0.383	55.44±0.484	0.005	0.351	0.662
pH _{24h}	5.68±0.030	5.61±0.028	5.62±0.024	5.67±0.033	0.083	0.188	0.153
REA, cm ²	74.50±2.250	77.35±2.162	74.65±1.872	77.20±2.497	0.371	0.422	0.267
FT, mm	4.48±0.353	3.54±0.333	3.79±0.298	4.22±0.384	0.055	0.368	0.448
MARB*	4.31±0.073	4.12±0.070	4.16±0.061	4.27±0.081	0.065	0.325	0.546
WBSF, N ^a	87.82±4.503	87.44±4.503	85.78±4.134	89.48±5.148	0.951	0.550	0.614
SL, µ	1.57±0.035	1.62±0.033	1.57±0.030	1.63±0.037	0.296	0.205	0.034
CL, %	38.82±1.619	39.23±1.555	39.33±1.347	38.73±1.796	0.857	0.793	0.223
Color							
L*	38.69±0.660	38.94±0.622	39.19±0.57	38.44±0.71	0.765	0.378	0.465
a*	17.91±0.358	17.83±0.344	18.06±0.297	17.69±0.397	0.876	0.464	0.981
b*	14.83±0.384	14.77±0.368	15.05±0.320	14.55±0.425	0.919	0.358	0.604

Weight gain rate (kg): PREW¹ = Pre-weaning, L³ = Low (67.87 ± 9.576); H⁴ = High (71.65±7.213); PROW² = Post-weaning, Low (L) = 119.40±43.76; High (H) = 137.31±40.417, at 7 days of aging. Note: Means followed by a different letter are significantly different at a level ($P \leq 0.05$). Abbreviations: FBW, Final Body Weight; HCW, Hot Carcass Weight; DP, Dressing percentage; REA: Ribeye area; FT, Fat Thickness; MARB, Marbling score *Select slight: 4.0–4.9; Choice small: 5.0–5.9; Choice modest: 6.0–6.9; Choice moderate: 7.0–7.9; Prime: 8.0–9.0. Warner Bratzler Shear Force; Newtona, SL, Sarcomere Length; CL, Cooking Losses; L*: Lightness; a*: Redness; b*: Yellowness

Table 2 - Fatty acids composition (% of total fatty acids) and total lipids (%) from Low (L) and High (H) gain rate in pre-and post-weaning of feedlot Nellore bulls

Variable	PREW ¹		PROW ²		<i>P-value</i>		
	L ³	H ⁴	L ³	H ⁴	PREW ¹	PROW ²	PREW ¹ x PROW ²
Total Lipids (%)	1.28±0.22	1.17±0.21	1.33±0.19	1.11±0.24	0.671	0.457	0.594
Saturated FA							
12:0	0.05±0.003	0.04±0.003	0.04±0.003	0.05±0.004	0.163	0.080	0.236
14:0	2.11±0.111	1.86±0.106	1.78±0.092	2.19±0.123	0.103	0.013	0.803
16:0	22.30±0.574	20.65±0.552	20.55±0.478	22.40±0.637	0.049	0.030	0.898
18:0	13.86±0.470	13.35±0.451	13.03±0.391	14.17±0.521	0.436	0.094	0.110
Monounsaturated FA							
9c-14:1	0.48±0.034	0.42±0.033	0.41±0.029	0.50±0.038	0.219	0.060	0.931
10c-15:1	0.20±0.019	0.24±0.018	0.25±0.016	0.19±0.021	0.109	0.031	0.225
9c-16:1	2.64±0.114	2.45±0.108	2.41±0.096	2.68±0.125	0.237	0.093	0.781
11c-18:1	1.72±0.181	1.83±0.181	1.73±0.157	1.82±0.209	0.663	0.720	0.963
18:1n-9c	32.02±0.883	31.04±0.844	30.71±0.738	32.34±0.974	0.424	0.192	0.852
11t-18:1	1.00±0.104	0.975±0.098	0.828±0.088	1.14±0.112	0.846	0.028	0.012
9t-18:1	0.12±0.015	0.10±0.014	0.08±0.013	0.13±0.016	0.292	0.032	0.263
BCFA							
iso 14:0	0.03±0.0038	0.03±0.0037	0.02±0.003	0.04±0.004	0.246	0.025	0.058
iso 15:0	0.09±0.007	0.08±0.007	0.07±0.006	0.10±0.008	0.697	0.030	0.114
Anteíso 15:0	0.17±0.014	0.16±0.013	0.15±0.011	0.17±0.015	0.705	0.305	0.095
iso 16:0	0.14±0.010	0.15±0.010	0.14±0.008	0.15±0.011	0.518	0.614	0.608
iso 17:0	0.04±0.020	0.02±0.018	0.03±0.016	0.03±0.027	0.363	0.901	0.585
iso 18:0	0.09±0.006	0.09±0.006	0.08±0.005	0.10±0.007	0.993	0.069	0.155
Polyunsaturated FA							
18:2n-6c	6.50±0.696	7.94±0.667	8.31±0.579	6.13±0.772	0.149	0.034	0.750
18:3n-3	0.52±0.041	0.62±0.036	0.63±0.034	0.52±0.041	0.101	0.064	0.810

Variable	PREW ¹		PROW ²		<i>P-value</i>		
	L ³	H ⁴	L ³	H ⁴	PREW ¹	PROW ²	PREW ¹ × PROW ²
11, 14c-20:2n-6	0.08±0.064	0.15±0.061	0.18±0.057	0.05±0.069	0.388	0.122	0.185
11, 14, 17c-20:3 n-3	0.009±0.0035	0.008±0.0033	0.008±0.0029	0.009±0.0038	0.786	0.940	0.555
20:4n-6	0.12±0.132	0.01±0.127	0.11±0.110	0.02±0.146	0.559	0.629	0.563
20:5n3	0.007±0.002	0.007±0.002	0.007±0.002	0.007±0.002	0.947	0.926	0.498
22:4 n6	0.18±0.022	0.23±0.021	0.24±0.018	0.17±0.024	0.098	0.026	0.432
22:5n3	0.85±0.086	1.01±0.083	1.04±0.072	0.82±0.096	0.206	0.077	0.045
22:6 n3	0.22±0.077	0.41±0.074	0.37±0.064	0.26±0.086	0.085	0.335	0.535
CLA							
9c 11t-18:2	0.0005±0.001	0.003±0.001	0.001±0.001	0.001±0.001	0.170	0.894	0.506
12c10t-18:2	0.03±0.003	0.03±0.003	0.03±0.003	0.02±0.002	0.982	0.241	0.006

Abbreviations: Weight gain rate (kg): PREW¹ = Pre-weaning, L³ = Low (67.87 ± 9.576); H⁴ = High (71.65±7.213); PROW² = Post-weaning, Low (L) = 119.40±43.76; High (H) = 137.31±40.417. BCFA= Branched Chain Fatty Acid, CLA= Conjugated Linoleic Acid

Note: Means in the same row followed by different letters are significantly different ($P \leq 0.05$).

Table 3 - Sums and ratios of fatty acids and enzymatic activity from low and high gain in pre-and post-weaning phases of feedlot Nellore

Variable	PREW ¹		PROW ²		<i>P value</i>		
					PREW ¹	PROW ²	PREW ¹ x PROW ²
	L ³	H ⁴	L ³	H ⁴			
Non- Identified FA	1.20±0.274	1.62±0.258	1.52±0.236	1.31±0.294	0.246	0.552	0.673
SFA	40.51±0.933	38.11±0.896	37.58±0.776	41.05±1.035	0.076	0.013	0.371
MUFA	43.38±0.754	42.67±0.724	42.21±0.627	43.85±0.836	0.505	0.131	0.818
PUFA	9.35±0.844	11.04±0.801	11.78±0.709	8.61±0.924	0.151	0.011	0.832
UFA	52.65±0.597	53.65±0.571	53.94±0.494	52.36±0.659	0.237	0.069	0.941
PUFA/SFA	0.24±0.028	0.30±0.027	0.32±0.024	0.22±0.031	0.152	0.016	0.908
CLA	0.03±0.003	0.03±0.003	0.03±0.003	0.03±0.004	0.573	0.224	0.017
Σn6	7.39±0.717	8.60±0.680	9.31±0.603	6.67±0.784	0.222	0.012	0.919
Σn3	1.68±0.148	2.12±0.143	2.13±0.123	1.67±0.165	0.045	0.033	0.137
n6/n3	4.34±0.261	4.12±0.251	4.42±0.217	4.04±0.290	0.539	0.303	0.113
BCFA	0.58±0.033	0.55±0.032	0.52±0.028	0.61±0.037	0.499	0.075	0.289
Δ9 DESATURASE 14	18.73±0.675	18.32±0.649	18.44±0.562	18.62±0.749	0.664	0.852	0.849
Δ9 DESATURASE C16	10.64±0.334	10.61±0.318	10.47±0.280	10.78±0.367	0.945	0.507	0.857
Δ9 DESATURASE C18	69.96±0.857	69.82±0.823	70.16±0.712	69.61±0.950	0.907	0.643	0.306
HI	1.75±0.078	1.96±0.075	1.99±0.065	1.72±0.087	0.069	0.023	0.957
AI	0.59±0.022	0.53±0.021	0.52±0.018	0.60±0.024	0.047	0.018	0.752
TI	1.24±0.042	1.13±0.041	1.11±0.035	1.26±0.047	0.065	0.014	0.321
h/H	1.63±0.058	1.79±0.055	1.81±0.048	1.61±0.064	0.061	0.028	0.769

Abbreviations: Weight gain rate (kg): PREW¹ = Pre-weaning, L³ = Low (67.87 ± 9.576); H⁴ = High (71.65±7.213); PROW² = Post-weaning, Low (L) = 119.40±43.76; High (H) = 137.31±40.417; SFA = total saturated fatty acids, MUFA = total monounsaturated fatty acids, PUFA = Total Polyunsaturated Fatty Acids, UFA= Unsaturated Fatty Acids, CLA= Conjugated Linoleic Acid. Σn3 (18:3 n3; 20:3 n3; 20:4 n3; 20:5 n3; 22:3 n3; 22:5 n3; 22:6 n3); Σn6 (18:2 n6 trans; 18:2 cis9 trans12; 18:2 trans9 cis12; 18:2 n6 cis; 18:3 n6y; 20:2 n6; 20:4 n6; 22:2 n6; 22:4 n6); BCFA= Branched Chain Fatty Acid, Δ9 desaturase 14 (100*(14:1 cis9/(14:1 cis9+14:0)); Δ9 desaturase 16 (100*(16:1 cis9/(16:1 cis9+16:0)); Δ9 desaturase 18 (100*(18:1 cis9/(18:1 cis9+18:0)); HI: Health Index (MUFA+PUFA)/(4*14:0+16:0); AI: Atherogenicity Index (12:0+(4*14:0)+16:0)/(Σn6+Σn3+ΣMUFA); TI: Thrombogenicity Index (14:0+16:0+18:0)/((0,5*ΣMUFA)+(0,5*Σn6)+(3*Σn3)+n3/n6); h/H: Hypocholesterolemic/Hypercholesterolemic (18:1 n9cis+18:2 n6cis+20:4 n6+18:3 n3+20:5 n3+22:5 n3+22:6 n3)/(14:0+16:0). Note: Means in the same row followed by different letters are significantly different (P ≤ 0.05).

Table 4 - Interaction of some fatty acids from low and high gain in pre-and post-weaning phases of feedlot Nellore bulls

Weight Gain Rate (kg)	Variable				<i>P value</i>
	11t-18:1	22:5n3	12c10t-18:2	CLA	
PREW x PROW					
H*H	0.94±0.136 c	1.02±0.117 b	0.02±0.004 d	0.03±0.004 c	<.0001
H*L	1.00±0.136 b	0.99±0.117 c	0.03±0.004 b	0.03±0.004 b	<.0001
L*H	1.35±0.173 a	0.61±0.152 d	0.04±0.006 a	0.04±0.006 a	<.0001
L*L	0.65±0.102 d	1.09±0.083 a	0.02±0.003 c	0.02±0.003 d	<.0001

Abbreviations: Weight gain rate (kg): PREW¹ = Pre-weaning, L³ = Low (67.87 ± 9.576); H⁴ = High (71.65±7.213); PROW² = Post-weaning, Low (L) = 119.40±43.76; High (H) = 137.31±40.417, CLA= Conjugated Linoleic Acid. Note: Means in the same column followed by different letters are significantly different ($P \leq 0.05$).

Figure 4- Interaction of sarcomere length from low and high gain in pre-and post-weaning phases of Nellore bulls finished in feedlot ($P = <.0001$).

CAPÍTULO III

Artigo a ser submetido a revista científica *Animal*

O IMPACTO DA SELEÇÃO PARA GANHO DE PESO NAS FASES PRÉ E PÓS-
DESMAME NA QUALIDADE DE CARNE E FIBRA MUSCULAR EM BOVINOS
NELORE

**Impact of selection for weight gain rate in pre- and post-weaning phases on meat quality
and muscle fiber in Nellore cattle**

T.R. Amorim¹, M.D. Poleti¹, R. Espigolan¹, L.F. Mueller¹, J.L. Gemelli¹, T.S. Martins², I.H. S. Fuzikawa¹, A. M. Ferrinho¹, G. V. Moura¹, J. A. Muñoz¹, P. L. Matioli², M.R. Mazalli¹, M. P. Berton³, R.R.P. Corte¹, F. Baldi³, A.S.C. Pereira^{1,2a}

¹*Faculty of Animal Science and Food Engineering - University of São Paulo, USP, Pirassununga, SP, 13635-900, Brazil.*

²*Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science - University of São Paulo, USP, Pirassununga, SP, 13635-900, Brazil.*

³*Faculty of Agricultural and Veterinary Sciences - São Paulo State University, UNESP, Jaboticabal, SP, 14884-000, Brazil*

^aCorresponding author: Angélica Simone Cravo Pereira. E-mail: angelpereira@usp.br

Present address: Meat Science Laboratory: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Duque de Caxias, 225, Jardim Elite, Pirassununga, SP, 13635-900, Brazil.

Short title: Biochemical properties influenced by the growth rate in Nelore cattle

ABSTRACT

This study investigated the consequences of growth rate for selection for high (H) and low (L) weight gain in pre- (PREW) and post-weaning (PROW) phases on meat quality attributes, such as connective tissue component, cholesterol, muscle fiber types and beef tenderness. Nellore bulls (N = 286) belonging to the National Association of Breeders and Researchers breeding program (ANCP, Ribeirão Preto, Brazil), were assigned to four treatment groups: PREW_H, PREW_L, PROW_H, and PROW_L. Animals were classified as high or low if their weight gain was above or below the average within each group, respectively. The performance was calculated by adjusting the weight gain from 120 to 240 days of age and from 240 days to 450 days of age for pre- and post-weaning, respectively. For the slaughter, we selected 46 animals with extreme performance values from all treatments. The weight gain rate for PREW_L, PREW_H, PROW_L, and PROW_H were 67.87 ± 9.57 Kg, 71.65 ± 7.21 Kg, 119.40 ± 43.76 Kg, and 137.31 ± 40.42 Kg, respectively. Animals were fed in a feedlot for 90 days with the same diet until their average weight reached 580 ± 65.17 Kg. At slaughter, we determined hot carcass weight (HCW) and collected samples from *Longissimus thoracis* and *Semitendinosus* muscles for heavy chain myosin isoforms (MyHC) analysis by SDS-PAGE. The carcasses were stored at 4 °C for 24 hours. Steaks sized 2.5 cm were collected from the *Longissimus thoracis* muscle to analyze total collagen (TCol), soluble collagen (SCol), insoluble collagen (ICol), Cholesterol (Cho), Warner Bratzler Shear Force (WBSF), Sarcomere Length (SL) and Cooking Losses (CL). The statistical analysis revealed that the weight gain rate influenced HCW and SL ($P < 0.05$). Moreover, TCol showed a negative correlation with HCQ, CL, MyHC I, and a positive correlation with MyHC IIx. Furthermore, our results did not show ($P > 0.05$) a relationship between phenotypic selection for weight gain and meat quality attributes. However, our results suggest that selection criteria in weight gain rate in Nellore cattle can be an alternative to achieve meat quality in breeding programs.

Keywords: *Bos indicus*, Collagen, Sarcomere Length, Myosin Heavy Chain, Growth traits

Implications

The management received during animals' lives in a production system directly reflects on their growth rate. Meat quality can be influenced by many genetic and environmental factors, including growth rate throughout a year. Greater weight gain in the post-weaning phases can improve hot carcass weight. Our results show a positive correlation between components of intramuscular connective tissue with myosin heavy chain fiber type (MyHC- IIx). MyHC- IIx is associated with meat quality, a highly requested trait by meat consumers nowadays.

Introduction

Given the great economic importance in beef cattle, especially for producers and the industry (CHARDULO et al., 2019; RUUSUNEN; PUOLANNE, 2004; SILVA et al., 2017), several studies have been focused on the use of growth traits as a criterion for animal selection (LOPES et al., 2016; PARDO et al., 2019; ZUIN et al., 2012). According to LYKKE (1977), growth rate is the muscle mass accumulation throughout an animal's life, determined by weight, height, length, or other parameters taken at different ages.

In Brazil, the pre-weaning and post-weaning phases occur in grazing systems, which presents a high variation in performance. This variation is due to the interaction between several factors, such as soil, climate, genotype and animal management, animal health, and quality and intensity of use of pastures (LIMA et al., 2009). The quantity and availability of forage and food supplements affect the cattle's performance during pre- and post-weaning phases, resulting in a heterogeneity in the finishing phase in a feedlot system.

Animal performance and body composition in the pre-weaning and post-weaning phases affect the quantity and quality of meat produced in the finishing phase (FERRINHO et al., 2019;

PORDOMINGO et al., 2012; SILVA et al., 2017, 2020). In this sense, selection carried out for animals presenting high visual gain in the pre-weaning phase would allow greeter weight gains at later ages, as well as a decrease in the generation interval, and improving animals' performance (PATERNO et al., 2017). However, selection for growth rate may not only change the physical and chemical aspects of meat but other production traits, since it can affect the body maturity, muscle fiber type/morphology, and fat deposition in the carcass (DA COSTA et al., 2019).

Several authors have already demonstrated changes in animal performance and body composition at the weaning growing phase in different traits such as feed intake, growth, and feed efficiency (GREENWOOD; CAFE, 2007; MORITTU et al., 2019; REYNOLDS; DEROUEN; KOONCE, 1982; YU et al., 2020), as well as for the post-weaning growing phase in animals' performance and body composition (CHARDULO et al., 2019; PORDOMINGO et al., 2012; SILVA et al., 2017, 2020). However, studies showing how the growth rate during an animal's life can affect carcass and meat quality. Studies that compared selection for muscle growth potential into high (H) versus low (L) in cattle (BERNARD et al., 2009; CHARDULO et al., 2019; LISTRAT et al., 2019; RENAND et al., 2001) proposed to keep a genetic selection to produce valuable carcasses with greater meat yield.

LEFAUCHEUR (2010) suggested that muscle mass increase can be achieved mainly by increasing fiber size and/or through the transformation of slow-twitch fibers into fast-twitch fibers. However, each fiber type expresses different functional, structural, metabolic, chemical and morphological characteristics affecting meat quality. Thus, the proportion of different types of muscle fibers, intramuscular connective tissue composition in total (TCol), insoluble (ICol) and soluble collagen (SCol) have been extensively investigated (GAGAOUA et al., 2016; LEPETIT, 2008; LISTRAT et al., 2015, 2019, 2020). Results from the literature demonstrated that biochemical traits stabilize the collagen molecule differently, and, consequently, collagen

solubilization and its mechanical properties, highlighting the differences in muscle traits in *Bos taurus*.

Therefore, this study aimed to investigate if animal classification for the weight gain rate at the pre- and post-weaning phases could affect meat quality attributes such as collagen content, fiber types, cholesterol content shear force.

Material and methods

The procedures were approved by the Ethics Committee on Animal Use (CEUA) from the Faculty of Animal Science and Food Engineering of the University of São Paulo (Protocol number 2884090518), Pirassununga, Sao Paulo, Brazil.

Animals and management

The dataset comprises phenotypic and genotypic information from 286 Nellore bulls from three farms in Brazil, all participating in the National Association of Breeders and Researchers animal breeding program (ANCP, Ribeirão Preto, Brazil). The three farms select animals based on growth, finishing, and sexual precocity traits.

The animals were raised on grazing conditions using *Brachiaria sp.* and *Panicum sp.* forages, and free access to mineral salt, at density ranging from 1.2 to 1.6 animal unit/hectare (AU/ha). After yearling, the breeding animals were selected and the rest remained in the feedlot (approximately 90 days). The diet consisted of whole corn or sorghum plant silage as high-quality forage, corn grains and/or ground sorghum as the energetic concentrate and soybean as protein concentrate. The bulls were vaccinated with a subcutaneous ivermectin injection (Ivomec 1%, Merial, Paulínia, SP, Brazil). The criterion used in the farms for the slaughter was that the animals should weight 580 ± 65.17 Kg on average.

To determine better representativeness of the treatments, we took advantage of the structure offered by the breeding programs and considered all the 286 contemporary animals that compose the 20 contemporary groups for weaning (CGW) and post-weaning (CGY) in the

ANCP breeding program database. The CGW consisted of animals belonging to the same farm, year of birth, management group at weaning and sex, and the CGY contained animals belonging to the same farm, year of birth, management group at yearling and sex.

The growth rate was measured at 240 days of age during the pre-weaning phase (PREW), and at 450 days of age during the post-weaning phase (PROW). PREW growth rate was obtained through the difference between the adjusted weight at 240 and 120 days of age, and the PROW growth rate by the difference between the adjusted weight at 450 and 240 days of age. The animals were then separated into four groups, considering their growth phase and the weight rate. At the pre-weaning phase, the animals were separated into low (PREW_L) and high (PREW_H) weight gain rate, and after reaching the post-weaning phase, the animals were reclassified into low (PROW_L) and high (PROW_H) weight gain rate.

Carcass and meat quality analysis used 46 animals (PREW_L=26, PREW_H=20, PROW_L=30, and PROW_H=16), with 321 ± 49.537 kg as the average live weight at yearling. The age of the animals at the end of the experiment was 24 months. We selected animals by considering the extreme performance values within the groups to be finished in the feedlot and then slaughtered. Weight gain rate for PREW_L was 67.87 ± 9.576 , PREW_H = 71.65 ± 7.213 , and PROW_L = 119.40 ± 43.460 , PROW_H = 137.31 ± 40.417 Kg.

Muscle sampling and carcass measurements

At the end of the feedlot period, the animals were transported by truck to a Federal Inspected commercial slaughterhouse (SIF 1646), which is approximately 282 kilometers away from the farm. The slaughter was made according to the Humanitarian Slaughter Guidelines, as required by Brazilian law, following the standards of the Regulation of Industrial and Sanitary Inspection of Products of Animal Origin – RIISPOA (BRASIL, 2017) and the Technical Regulation of Stunting Methods for Humane Slaughter of Butchery Animals (BRASIL, 2000). Before slaughter, the animals were submitted to a 16h feed-restriction fasting

period, with free access to water.

During slaughter, samples from *Longissimus thoracis* (LT) and *Semitendinous* (ST) muscles of approximately 5.0 cm x 2.0 cm were removed between the 12th and 13th ribs and immediately frozen in liquid nitrogen. The samples were stored at -80 °C for further analysis of fibers type. The hot carcass weight (HCW) was determined for each animal at the end of the slaughter process.

After 24 hours at 4 °C, carcass left halves were sampled between the 12th and 13th ribs we collected four 2.54-cm thick steaks in the *LT* muscle from each animal to evaluate sarcomere length (SL), collagen, cholesterol (Cho) and Warner-Bratzler shear force (WBSF). The samples were vacuum-packed individually in polyethylene bags (Cryovac®, Charlotte, NC) and stored at -20 °C, except for the samples used for WBSF analysis, which were stored at 4 °C for 7 days (aged).

Meat quality attributes analysis

The procedures for the shear force (WBSF) analysis were performed according to Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation, and Instrumental Tenderness Measurements of Meat (AMSA, 2016). We roasted the steaks in an electric oven (Model F130 /L - Electric Ovens Flecha de Ouro Ind. E Com. Ltda, São Paulo, Brazil) at 180 °C, until the internal temperature reached 71 °C. We measured the temperature using a digital thermometer positioned in the geometric center of each beef steak. Losses were calculated by weighing the steaks before and after cooking, being expressed as a percentage of the steak weight before each procedure. The cooked steaks were individually wrapped in plastic film and cooled for 24 hours at 4 °C.

The next step consisted of removing six cylinders parallel to the muscle fibers of each sample (1.27 cm in diameter) with a bench drill (Ferrari FG13- 350W). WBSF test was

performed on the Brookfield® CT-3 Texture Analyzer texturometer equipment (Brookfield, USA), equipped with a Warner-Bratzler triangular blade, according to the methodology proposed by Wheeler et al. (2001). The average shear force of the six cylinders was calculated and expressed in Newton (N). Cooking losses (CL) were expressed as a percentage, as follows:

$$\text{CL} = [(\text{CL initial} - \text{CL final}) / \text{CL initial}] \times 100$$

Where CL initial is the raw weight of the sample, and the CL final is the weight of the sample after cooking.

The sarcomere length (SL) analysis was performed on raw steak samples according to the method described by Koolmees (1986). For the analysis, six 13 mm cylinders were used for each steak. The cylinders were removed with an electric heap, from which six fibers were selected per cylinder, and a sarcomere was measured per fiber. Thus, 36 sarcomeres were measured per sample. The SL analysis was performed using the laser diffraction method, using the Helium-Neon Laser model 05-LHR- 021 (Melles Griot, Carlsbad, CA, USA) with a wavelength 632-8 nm as described by Cross et al. (1981).

Intramuscular connective tissue

Measurements for collagen (TCol), insoluble collagen (ICol), and soluble collagen (SCol) were obtained using meat samples separated in the deboning. The samples were minced, homogenized and lyophilized (SL-404/E), and stored in the freezer at -18 °C.

Collagen quantification was estimated by the hydroxyproline (OH-Prol) determination (WOESSNER, 1961). Approximately 1.5 g of a lyophilized sample of the LT muscle, in duplicates, was placed in 50 ml falcon tubes containing 12 ml of Ringer's solution. The samples were shaken and then placed in a water bath at 80 °C for 60 min. After that, the samples were cooled to 4 °C for 10 min in an ice bath. The samples were then centrifuged twice for 10 min

at 6000 g max at 2 °C, and the supernatant was separated from the residue for subsequent acid hydrolysis at 105 °C for 16h in 6 N HCl. The samples were filtered with a quantitative paper filter for rapid filtration (WH1001-150 -WHATMAN). Subsequently, the content obtained was transferred to 35 ml test tubes (in duplicates) to perform the color reaction. We added 1 ml of Chloramine-T buffer to each tube, and after resting for 4 minutes at room temperature, 1 ml of color reagent was added. The samples were incubated for 25 minutes at 60 °C in a water bath and, following, were read in a spectrophotometer at 560 nm (visible model V-M5 BEL). A purified hydroxyproline stock solution (Sigma-Aldrich, St Louis, MO) was prepared to build a standard curve.

Color reaction and reading analysis were performed in the same way as performed with the samples. We used seven known concentrations of hydroxyproline to establish the standard curve: 0, 1, 2, 4, 6, 8, 10 µg of hydroxyproline/ml. We determined the effective amount of collagen by multiplying the volume of hydroxyproline by 7.52 for the supernatant and by 7.25 for the residue (CROSS; CARPENTER; SMITH, 1973). The supernatant determined the fraction of SCol, and the residue ICol fraction in mg/g. TCol (mg of collagen/g of meat) was defined by the sum of SCol and ICol.

Determination of cholesterol content in the muscle

Cholesterol content (Cho) was determined according to the method described by MAZALLI et al. (2006). Each sample was triplicated for further analysis. Direct cold saponification was performed with 1.5 g of lyophilized meat (SL-404/E) with the addition of 10 ml of potassium hydroxide in aqueous ethanol (99%), the remainder was stirred without light. Subsequently, 15 ml of distilled water and 10 ml of hexane PA were added, and the unsaponifiable part was extracted. Samples were stored in another flask, filtered with anhydrous sodium sulfate (WH1001-150 -WHATMAN) and washed with 2 ml of hexane PA. The filtered

content was dried using nitrogen gas.

To perform the quantification, we used the external calibration curves generated by a Shimadzu liquid chromatography (Kyoto, Japan) equipped with a photodiode array detector (PDA-SPDM20A) at 210 nm and a New HP CN Pack column (300 mm × 3.9 mm, 4 µm, Waters, Milford, MA, USA) at 32 °C. The flow rate was set at 1 mL per minute and the mobile phase of hexane: isopropanol 96:4 was used.

Analysis of the myosin heavy chain (MyHC) isoforms by SDS-PAGE electrophoresis

For the analysis of the MyHC isoforms, the LT and ST muscle samples collected at slaughter were prepared as described by LONERGAN et al. (2001) with modifications. Half a gram of muscle samples were finely minced and homogenized in 9 volumes of ice-cold homogenization buffer (250 mM sucrose, 100 mM KCl, 5 mM EDTA, and 20 mM Tris, pH 6.8) using an Ultra Turrax homogenizer (IKA) and centrifuged at 1500 x g for 15 min at 4 °C. The pellets were homogenized in 25 volumes of whole muscle extraction buffer (2% sodium dodecyl sulfate (SDS)) (wt./vol.), 10 mM sodium phosphate, pH 7.0), and then centrifuged at 1500 g for 15 min at 20 °C. The protein concentration of the supernatant was determined using the BCA Protein Assay Kit (Pierce, IL, USA). Samples were heated in tracking dye solution (50% [v/v] glycerol, 2% [wt./v.] SDS, 0.1% [wt./v.] bromophenol blue, 60 mM Tris–HCl, pH 6.8 and 0.1 % [v/v] β-mercaptoethanol) at 95 °C for 5 min. The samples were stored at -80 °C for subsequent analysis.

From the samples, we used 2 µg to load on each lane of SDS-PAGE gels sized 10 cm × 12 cm × 0.75 cm. The stacking gels were composed of 37% glycerol, 4% acrylamide-N, N'-methylene-bisacrylamide (acrylamide-bis) (50:1), 200 mM Tris–HCl (pH 6.8), 4 mM EDTA, and 0.4% SDS. The separating gels were composed of 37% glycerol, 7% acrylamide-bis (50:1), 200 mM Tris–HCL (pH 8.8), 100 mM glycine, and 0.4% SDS. Polymerization of stacking and

separating gels were initiated with 0.05% tetramethylethylenediamine (TEMED) and 0.1% ammonium persulfate (APS). Two different buffers were used in the runs: (i) upper running buffer consisted of 200 mM Tris, 300 mM glycine, 0.1% β -mercaptoethanol, and 0.2% SDS; (ii) lower running buffer consisted of 100 mM Tris, 150 mM glycine, 0.1% β -mercaptoethanol and 0.1% SDS. The gels were run at 5 mA on PowerPac Universal (Bio-Rad, Hercules, California, USA) for approximately 26 h at 4 °C. The gels were stained with Coomassie Blue R-250 (Sigma-Aldrich, Saint Louis, MO, USA) and scanned in ImageScanner III (Amersham Biosciences). We quantified the band densities using the Image Lab™ Software 6.0.1 version (Bio-Rad, CA, USA). The value (%) for each MyHC isoform (type I or type IIX or type IIB) was expressed relative to the total intensities of all MyHC isoforms within the lane.

Identification of the MyHC isoforms by LC-MS/MS analysis

The bands were removed from the gel, fragmented and subjected to trypsin digestion according to the method described by ARAGÃO et al. (2012). For protein analysis, a 4.5 μ l aliquot of proteins resulting from peptide digestion was separated by C18 (100 mm 6100 mm) RP-nano PLCs (nanoAcquity, Waters) coupled with a Q-ToF Premier mass spectrometer (Waters) with nanoelectrospray source at a 0.6 ml/min flow rate. The gradient was 2–90% acetonitrile in 0.1% formic acid over 60 min. The nanoelectrospray voltage was set to 3.5 kV, 30 V cone voltage, and the source temperature was 100°C. The instrument was operated in the ‘top three’ mode, in which one MS spectrum is followed by an MS/MS of the top three most-intense peaks detected. After MS/MS fragmentation, the ion was placed on the exclusion list for 60 s; real-time exclusion was used for the endogenous cleavage peptides analysis.

The spectra software MassLynx v.4.1 was used for data analysis. The raw data files were converted to a peak list format (mgf) without summing the scans by the software Mascot Distiller v.2.3.2.0, 2009 (Matrix Science Ltd.). We searched for the *Rattus norvegicus* (29,951

proteins – 8,094 reviewed and 21,857 interviewed), last modified January 15, 2020, and Bos taurus (37,513 proteins – 6,012 reviewed and 31,501 unreviewed), last modified January 15, 2020, using Mascot engine v.2.3.01 (Matrix Science Ltd.), with carbamidomethylation as fixed modifications, oxidation of methionine as variable modification, one trypsin missed cleavage and 0.1 Da tolerance for both precursor and fragment ions.

Statistical analyses

After determining the treatments, we analyzed the data from 46 animals using the PROC MIXED procedure of the SAS program (SAS INSTITUTE INC., CARY, NC, 2017), considering the following model:

$$y = \mu + \alpha + l + (\alpha l) + \text{Sire} + e,$$

where y was the vector of phenotypic observations; μ was the overall mean; α corresponded to the treatment effect on pre-weaning phase; l was the treatment effect on post-weaning phase; (αl) corresponds to the effect of the interaction between treatments; Sire was a random effect of the sire (bulls), and e was a vector of random residuals. The LS means were compared using Tukey's test at a 5% significance level.

We used the PROC MEANS procedure of the SAS program (SAS INSTITUTE INC., CARY, NC, 2017) to calculate the descriptive statistics. Pearson's correlation coefficients and the corresponding P -values were obtained through the base function *cor.test* in the R software environment (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2020).

Results

Effect of gain rate in the pre-and post-weaning phases in the carcass, meat quality traits, and muscle traits

The weight gain rate in the PREW and PROW phases affected the HCW ($P < 0.05$, Table 5). As expected, greater HCW values were observed in the PREW_H and PROW_H group of animals. The WBSF CL and SL/ μ were not affected ($P > 0.05$) by the weight gain rate in their

phase. However, a significant interaction ($P > 0.05$) on SL was observed between PREW and PROW. Animals from H gain group in both phases exhibited the greatest SL values (Table 5). No differences ($P > 0.05$) detected for (TCol, ICol, SCol, and Cho, Table 5).

Weight gain rate effect in the pre-and post-weaning phases over the muscle fiber types

The weight gain rate effect in PREW and PROW phases did not influence proportion the MyHC-IIx and MyHC-I in both muscles (Table 5).

Electrophoresis of LT and ST muscles from Nelore cattle showed two bands that could be compared to the standard sample from rat *Plantaris* muscle (Figure 5). The rodent muscle exhibited three bands on the gel, which were subjected to LC-MS/MS analysis with the two bovine bands to identify which isoforms they were referring to. In rat muscle, we identified the MyHC IIx, IIb, and I isoforms, and in Nelore cattle, MyHC IIx and I isoforms (Table 6).

Overall relationships among meat quality attributes

We used correlations to quantify the relationship between phenotypes (Table 7). The HCW was positively correlated with SL (+ 0.32, $P = 0.03$) and CL (+ 0.31, $P = 0.04$). Moreover, HCW was negatively correlated with TCol (- 0.34, $P = 0.02$). For SL, a positive correlation with CL (+ 0.32, $P = 0.03$) was observed. Nevertheless, the correlation between CL and TCol was negative (-0.30, $P = 0.04$). Furthermore, there were no significant correlations between WBSF with collagen and fiber types. Type IIX muscle fibers (glycolytic) were positively correlated with TCol (+0.3, $P = 0.03$) in both muscle ST and LT. Type I muscle fibers (oxidative) were negatively correlated with TCol (-0.3, $P = 0.03$) in ST and LT muscles.

Discussion

The present study aimed to assess whether differences in growth rates in beef cattle can

influence carcass and meat traits. Currently, there is a growing interest in animals with muscle hypertrophy potential since this condition promotes the glycolytic muscle fibers metabolism, decreasing collagen and intramuscular fat content, which is favorable to meat tenderness (WARNER et al., 2010).

Both phases of the weight gain rate influenced the HCW. According to Dias (2015), the greatest weight gains were observed during PREW phase under grazing conditions. The identification and selection of fast-growing animals at this stage has been used by producers with the aim of improving the efficiency of extensive systems. In our study, there was a greater HCW in PROW_H phase, in this sense, the growth rate may affect muscle protein turnover, consequently affecting the increase of muscle protein turnover rate. These results corroborate with SILVA et al. (2017) and FERRINHO et al. (2019) that reported an average of 280 ± 6.89 kg in Hereford cattle at 23 months, and 247.60 ± 1.62 kg in Nellore cattle at 18 months, respectively. These results suggest that the groups with the high weight gain in PROW showed a greater support for muscle growth (GREENWOOD; CAFE, 2007). Therefore, heavier animals in the growth phases will show greater carcass returns benefiting producers and industry financially.

In the present study, there was a low positive correlation between HCW, SL, and CL ($r=0.3$), which suggests which suggests that part of the genes with additive effects for muscle hypertrophy are common among these traits (CARDOSO; CARDELLINO; CAMPOS, 2004; TORAL et al., 2011; YOKOO et al., 2009). However, TCol presented a negative weak correlation ($r=-0.3$) with HCW and CL. The collagen synthesis is part of the signaling process in myogenesis, regulating further growth and development of the muscle (CATES; BRICKENDEN; SANWAL, 1984).

The importance of collagen in meat quality is linked to meat tenderness. The covalent cross-links between collagen fibrils become heat-stable and these links significantly increase

meat toughness (WARNER et al., 2010). However, in our study, no differences were observed in collagen (TCol, SCol, ICol) in the pre- and post-weaning growing phases. The percentage of heat soluble collagen is variable with the animal's age, finishing system, and exercises during fattening phase (BRUCE; STARK; BEILKEN, 2004). Bruce et al. (2004) and Silva et al. (2017) did not report differences in heat solubility or the content of intramuscular collagen at the post-weaning growing phase. It is important to highlight that the differences between the weight gain rate in the groups of animals in this study was small, even in a feedlot system.

The value of the interaction at sarcomere length was $1.63 \pm 0.037 \mu$. This value is considered appropriate in the range of 1.8 to 2.2 μ m (ERTBJERG; PUOLANNE, 2017). According to Bruce et al. (2004), the major negative impact of cold shortening on meat tenderness occurs when the sarcomere length is shorter than 1.5 μ m. In our study, the averaged above was 1.60 μ m, which indicates that it did not affected meat quality.

Skeletal muscle is a heterogeneous tissue comprised of different types of muscle fibers. Metabolism, biochemical and biophysical characteristics, such as oxidative and glycolytic capacity, fiber size, and lipid content can lead to these variations between types of muscle fibers (CHANG et al., 2003). In our study, we did not observe differences between muscle fiber types is consequence of difference weight gain probably due to the treatments were not constrasting. Postnatal growth of cattle is typically characterized by hypertrophy, which is accompanied by the modulation of different fiber types (CHARDULO et al., 2019; SCHREURS et al., 2008).

This study correlated carcass and meat quality traits with fiber types and connective tissue. According to Listrat et al. (2019), there is scarcity in the data dealing with the relationship between connective tissue and muscle fiber types, especially in *Bos indicus* cattle for each growing phase throughout the year. However, in the LT muscle, TCol was positively correlated with glycolytic (IIX + B) fibers in LT and ST muscles ($r = 0.3$) and negatively correlated with oxidative (I) fibers ($r = -0.3$) in both muscles.

Our study showed that the fiber type I (MyHC-I) was negatively correlated with fiber type IIx (MyHC-IIx) in both muscles. Muscle fibers are classified into different types depending on their contractile and metabolic properties: slow-twitch oxidative (type I) and fast-twitch glycolytic (IIx and IIB) fibers, so they are inversely proportional (SCHIAFFINO; REGGIANI, 1996).

According to Robins et al. (1973), collagen solubility may be more directly related to the proportion of stable cross-links, in other words, the rate at which the labile bonds are stabilized may vary considerably between tissues, and particularly between species. In this sense, this may account for the wide variation of solubility between rat, bovine, avian, and human skin.

The MyHC-IIb isoform was identified only in the control test for Rat *Plantares* (Figure 1). Specifically, in Nelore cattle, no study was able to detect the presence of the MyHC-IIb isoform by electrophoresis in LT muscle (CHARDULO et al., 2019). The MyHC IIa and IIx in bovine muscle have very similar structures (PICARD et al., 2015). The MyHC -IIb isoform is more commonly found in double-muscled *Bos taurus* breeds, such as Blonde d'Aquitaine (PICARD et al., 2006).

Our findings could have some implications in meat quality studies, highlighting the correlation between collagen and WBSF. In this sense, the correct choice of selection criteria that are economically important and promote positive responses is fundamental to the success of a breeding program.

Conclusion

The selection for different gain rates in the pre-weaning and post-weaning phases did not influence *in vivo* collagen renewal and differentiation in fiber types.

The termination of the animals in feedlot may have diluted the effects of the growth curve.

Acknowledgements

Tamyres Rodrigues de Amorim received a scholarship and this study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001. The authors would like to thank the Brazilian National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) grant# 430817/2016-9, São Paulo Research Foundation (FAPESP grant #2011/21241-0), CV Nellore Mocho[®] São Paulo/SP-Brazil, the Campina, Terra Boa and Haras Maripa farms for providing the dataset for this research, National Association of Breeders and Researchers breeding program (ANCP), Ribeirão Preto/SP – Brazil, Graduate Program on Animal Science-Faculty of Animal Science and Food Engineering - University of São Paulo, USP, Pirassununga/SP-Brazil, Meat Science Laboratory-Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science - University of São Paulo, USP-Brazil, Laboratory of Advanced Studies in Meat Science (LEACC)- located at the Faculty of Animal Science and Food Engineering of the University of São Paulo -FZEA / USP

Declaration of interest

We certify that there is no conflict of interest with any financial organization regarding the material discussed in the manuscript.

Ethics statement

The procedures were approved by the Ethics Committee on Animal Use (CEUA) from the Faculty of Animal Science and Food Engineering of the University of Sao Paulo (Protocol number 2884090518), Pirassununga, Sao Paulo, Brazil.

References

- AMSA 2016. Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation, and Instrumental Tenderness Measurements of Meat.
- Aragão AZB, Belloni M, Simabuco FM, Zanetti MR, Yokoo S, Domingues RR, Kawahara R, Pauletti BA, Gonçalves A, Agostini M, Graner E, Coletta RD, Fox JW and Leme AFP 2012. Novel processed form of syndecan-1 shed from SCC-9 cells plays a role in cell migration. PLoS ONE 7, 1–12.
- Bernard C, Cassar-Malek I, Renand G and Hocquette JF 2009. Changes in muscle gene expression related to metabolism according to growth potential in young bulls. Meat Science 82, 205–212.
- Brasil 2000. INSTRUÇÃO NORMATIVA No 3, DE 17 DE JANEIRO DE 2000 O SECRETARIO DE DEFESA AGROPECUÁRIA DO MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, no uso da atribuição que lhe confere o art. 83, inciso IV, do Regimento Interno da Secretaria, aprovado pela Por. 3–10.
- Brasil 2017. Decreto 9.013, De 29 De Março De 2017. DECRETO No9.013 de 29 de março de 2017, 1–108.
- Bruce HL, Stark JL and Beilken SL 2004. The effects of finishing diet and postmortem ageing on the eating quality of the M. longissimus thoracis of electrically stimulated Brahman steer carcasses. Meat Science 67, 261–268.
- Cardoso FF, Cardellino RA and Campos LT 2004. Componentes de (Co)variância e parâmetros genéticos de caracteres pós-desmama em bovinos da raça angus. Revista Brasileira de Zootecnia 33, 313–319.
- Cates GA, Brickenden AM and Sanwal BD 1984. Possible involvement of a cell surface glycoprotein in the differentiation of skeletal myoblasts. Journal of Biological Chemistry

259, 2646–2650.

- Chardulo LAL, Baldassini WA, Curi RA, Pereira GL, Machado Neto OR, Dal-Pai M, Vechetti-Júnior IJ, Malheiros JM and Enriquez-Valencia CE 2019. Gene and protein expression of myosin heavy chain in Nellore cattle comparing growth or meat tenderness traits. *Animal Biotechnology* 0, 1–10.
- CHANG, K. C. et al. Relationships of myosin heavy chain fibre types to meat quality traits in traditional and modern pigs. *Meat Science*, v. 64, p. 93-103, 2003.
- Da Costa MB, Cônsolo NRB, Silva J, Buarque VLM, Padilla ARH, Coutinho ID, Barbosa LCGS, Colnago LA, Silva SL and Saran Netto A 2019. Performance, carcass traits and serum metabolomic profile of Nellore males with different genetic potential for post-weaning growth. *Animal*.
- CROSS HR, CARPENTER ZL and SMITH GC 1973. Effects of Intramuscular Collagen and Elastin on Bovine Muscle Tenderness. *Journal of Food Science* 38, 998–1003.
- Cross HR, West RL and Dutson TR 1981. Comparison of methods for measuring sarcomere length in beef semitendinosus muscle. *Meat Science* 5, 261–266.
- Ertbjerg P and Puolanne E 2017. Muscle structure, sarcomere length and influences on meat quality: A review. *Meat Science* 132, 139–152.
- Ferrinho AM, Peripolli E, Banchero G, Pereira ASC, Brito G, La Manna A, Fernandez E, Montossi F, Kluska S, Mueller LF, Berchielli TT and Baldi F 2019. Effect of growth path on carcass and meat-quality traits of Hereford steers finished on pasture or in feedlot. *Animal Production Science* 60, 323–332.
- Gagaoua M, Terlouw EMC, Micol D, Hocquette JF, Moloney AP, Nuernberg K, Bauchart D, Boudjellal A, Scollan ND, Richardson RI and Picard B 2016. Sensory quality of meat from eight different types of cattle in relation with their biochemical characteristics. *Journal of Integrative Agriculture* 15, 1550–1563.

- Greenwood PL and Cafe LM 2007. Prenatal and pre-weaning growth and nutrition of cattle: Long-term consequences for beef production. *Animal* 1, 1283–1296.
- Lefaucheur L 2010. A second look into fibre typing - Relation to meat quality. *Meat Science* 84, 257–270.
- Lepetit J 2008. Collagen contribution to meat toughness: Theoretical aspects. *Meat Science* 80, 960–967.
- Lima Neto, H.R., Bergmann, J.A.G., Gonçalves, T.M., Araújo, F.R.C., Bezerra, L.A.F., Sainz, R.D., Lôbo, R.B., Silva, M.A., 2009. Parâmetros genéticos para características de carcaça avaliadas por ultrassonografia em bovinos da raça Guzerá. *Arquivos Brasileiro de Medicina veterinária e Zootecnia*, 61, 251-258.
- Listrat A, Gagaoua M, Normand J, Andueza DJ, Gruffat D, Mairesse G, Chesneau G, Mourot BP, Gobert C and Picard B 2019. Are there consistent relationships between major connective tissue components, intramuscular fat content and muscle fibre types in cattle muscle. *Animal*, 1–9.
- Listrat A, Gagaoua M, Normand J, Gruffat D, Andueza D, Mairesse G, Mourot BP, Chesneau G, Gobert C and Picard B 2020. Contribution of connective tissue components, muscle fibres and marbling to beef tenderness variability in longissimus thoracis, rectus abdominis, semimembranosus and semitendinosus muscles. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 100, 2502–2511.
- Listrat A, Lebret B, Louveau I, Astruc T, Bonnet M, Lefaucheur L and Bugeon J 2015. How muscle structure and composition determine meat quality. *Productions Animales* 28, 125–136.
- Lonergan SM, Huff-Lonergan E, Rowe LJ, Kuhlert DL and Jungst SB 2001. Selection for lean growth efficiency in Duroc pigs influences pork quality. *Journal of Animal Science* 79, 2075–2085.

- Lopes FB, Da Silva MC, Magnabosco CU, Narciso MG and Sainz RD 2016. Selection Indices and Multivariate Analysis Show Similar Results in the Evaluation of Growth and Carcass Traits in Beef Cattle. *PLoS ONE* 11, 1–21.
- Lykke T 1977. New concepts of cattle growth. *Livestock Production Science* 4, 299.
- Mazalli MR, Sawaya ACHF, Eberlin MN and Bragagnolo N 2006. HPLC method for quantification and characterization of cholesterol and its oxidation products in eggs. *Lipids* 41, 615–622.
- Morittu VM, Minuti A, Spina A, Riboni MV, Piccioli-Cappelli F, Trevisi E, Britti D and Lopreiato V 2019. Age-related metabolic changes of pre-weaned Simmental calves fed whole bulk milk and ad libitum calf starter. *Research in Veterinary Science*.
- Pardo AM, Villarreal EL, Mazzucco JP, Melucci OG, Santamaría S, Ferrario J and Melucci LM 2019. Sexual precocity and productivity of beef cattle female under grazing conditions. *Animal Production Science* 59, 757–766.
- Paterno FM, Buzanskas ME, Koury Filho W, Lôbo RB and Queiroz SA 2017. Evaluation of body weight and visual scores for genetic improvement of Nelore cattle. *Tropical Animal Health and Production* 49, 467–473.
- Picard B, Jurie C, Duris MP and Renand G 2006. Consequences of selection for higher growth rate on muscle fibre development in cattle. *Livestock Science* 102, 107–120.
- Picard B, Lebreton B, Cassar-Malek I, Liaubet L, Berri C, Le Bihan-Duval E, Hocquette JF and Renand G 2015. Recent advances in omic technologies for meat quality management. *Meat Science* 109, 18–26.
- Pordomingo AJ, Grigioni G, Carduza F and Volpi Lagreca G 2012. Effect of feeding treatment during the backgrounding phase of beef production from pasture on: I. Animal performance, carcass and meat quality. *Meat Science* 90, 939–946.
- R Development Core Team 2020. R: A language and environment for statistical computing.

- Available at [<http://www.R-project.org>]. Accessed March 29, 2020, Vienna, Austria.
- Renand G, Picard B, Touraille C, Berge P and Lepetit J 2001. Relationships between muscle characteristics and meat quality traits of young Charolais bulls. *Meat Science* 59, 49–60.
- Reynolds WL, DeRouen TM and Koonce KL 1982. Prewaning growth rate and weaning traits of Angus, zebu and zebu-cross cattle. *Journal of animal science* 54, 241–247.
- Robins SP, Shimokomaki M and Bailey AJ 1973. The chemistry of the collagen cross-links. Age-related changes in the reducible components of intact bovine collagen fibres. *The Biochemical journal* 131, 771–780.
- Ruusunen M and Puolanne E 2004. Histochemical properties of fibre types in muscles of wild and domestic pigs and the effect of growth rate on muscle fibre properties. *Meat Science* 67, 533–539.
- SAS Institute Inc., Cary, NC U 2017. Sas® 9.4. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Schiaffino S and Reggiani C 1996. Molecular diversity of myofibrillar proteins: Gene regulation and functional significance. *Physiological Reviews* 76, 371–423.
- Schreurs NM, Garcia F, Jurie C, Agabriel J, Micol D, Bauchart D, Listrat A and Picard B 2008. Meta-analysis of the effect of animal maturity on muscle characteristics in different muscles, breeds, and sexes of cattle. *Journal of Animal Science* 86, 2872–2887.
- Silva LHP, Paulino PVR, Assis GJF, Assis DEF, Estrada MM, Silva MC, Silva JC, Martins TS, Valadares Filho SC, Paulino MF and Chizzotti ML 2017. Effect of post-weaning growth rate on carcass traits and meat quality of Nellore cattle. *Meat Science* 123, 192–197.
- Silva LHP, Paulino PVR, Benedeti PDB, Estrada MM, Alves LC, Assis DEF, Assis GJF, Leonel FP, Valadares Filho SC, Paulino MF and Chizzotti ML 2020. Post-weaning growth rate effects on body composition of Nellore bulls. *Animal Production Science* 60, 852–862.
- Toral FLB, Roso VM, de Araújo CV and Filho JCR 2011. Genetic parameters and response to

- selection for post-weaning weight gain, visual scores and carcass traits in Hereford and Hereford×Nelore cattle. *Livestock Science* 137, 231–237.
- Warner RD, Greenwood PL, Pethick DW and Ferguson DM 2010. Genetic and environmental effects on meat quality. *Meat Science* 86, 171–183.
- Wheeler TL, Shackelford SD and Koohmaraie M 2001. Shear Force Procedures for Meat Tenderness Measurement. Agricultural Research Service United States Department of Agriculture Clay Center, NE 68933 USA.
- Woessner JF 1961. The determination of hydroxyproline in tissue and protein samples containing small proportions of this imino acid. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 93, 440–447.
- Yokoo MJ, Werneck JN, Pereira MC, Albuquerque LG de, Koury Filho W, Sainz RD, Lobo RB and Araujo FR da C 2009. Correlações genéticas entre escores visuais e características de carcaça medidas por ultrassom em bovinos de corte. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 44, 197–202.
- Yu Q, Tian X, Shao L, Li X and Dai R 2020. Mitochondria changes and metabolome differences of bovine longissimus lumborum and psoas major during 24 h postmortem. *Meat Science* 166, 108112.
- Zuin RG, Buzanskas ME, Caetano SL, Venturini GC, Guidolin DGF, Grossi DA, Chud TCS, Paz CCP, Lôbo RB and Munari DP 2012. Genetic analysis on growth and carcass traits in Nelore cattle. *MESC* 91, 352–357.

Table 5 - Analysis of variance for carcass and meat quality traits, muscle characteristics and fiber types from Nellore cattle with high and low gain rate in the pre- and post-weaning phases.

Variable	PREW ¹		PROW ²		P-value		
	L ³	H ⁴	L ³	H ⁴	PREW	PROW	PREW X PROW
HCW, kg	308.77±8.354	334.91±7.871	307.81±7.112	335.87±9.038	0.025	0.018	0.173
WBSF, N *	87.82±4.503	87.44±4.503	85.78±4.134	89.48±5.148	0.951	0.550	0.614
SL,µ	1.57±0.035	1.62±0.033	1.57±0.030	1.63±0.037	0.296	0.205	0.034
CL, %	38.82±1.619	39.23±1.555	39.33±1.347	38.73±1.796	0.857	0.793	0.223
Muscle characteristics							
Tcol (mg/g)	3.31±0.236	3.39±0.227	3.32±0.196	3.38±0.262	0.794	0.841	0.322
ICol (%)	89.84±1.567	87.52±1.505	89.02±1.303	88.34±1.738	0.297	0.759	0.424
SCol (%)	10.15±1.567	12.47±1.505	10.97±1.303	11.65±1.738	0.297	0.759	0.424
Cholesterol (mg/100g meat)	34.72±1.563	38.21±1.398	35.09±1.713	37.83±1.211	0.109	0.204	0.590
Muscle fiber types (%)							
MyHC-IIx							
LT	80.04±0.832	79.28±0.822	79.34±0.718	79.99±0.923	0.519	0.583	0.989
ST	90.42±0.951	88.99±0.939	90.19±0.820	89.22±1.052	0.296	0.471	0.339
MyHC-I							
LT	19.95±0.832	20.71±0.8219	20.65±0.718	20.00±0.923	0.519	0.583	0.989
ST	9.57±0.951	11.00±0.936	9.80±0.820	10.77±1.052	0.296	0.471	0.339

PREW¹=Pre-weaning, L³= Low (67.87 ± 9.576); H⁴= High (71.65±7.213); PROW²=Post-weaning, L³= Low (119.40±43.76); H⁴= High (137.31±40.417), HCW= Hot Carcass Weight, WBSF= Warner Bratzler Shear Force, *7 days of aging, SL= Sarcomere Length, CL=Cooking Losses, TCol= Collagen Total mg collagen/ g meat; ICol= Collagen insoluble, %; SCol= collagen soluble, LT= *Longissimus thoracis*, ST= *Semitendinosus*

Table 6 - Identified myosin heavy chain isoforms from *longissimus thoracis* (LT) and *semitendinosus* (ST) muscles from Nellore cattle and rat *Plantaris* muscle.

Band(a)	Muscle	Accession number(b)	Protein name(b)	MyHC(c)	Species	Theoretical MW (Da) (d)	Size (aa) (e)	Score/Matched peptides (f)
1	Plantaris	Q5SX40	Myosin-1	MyHC - IIx	<i>Mus musculus</i> (Mouse)	223,342	1,942	2640/220
2		Q5SX39	Myosin-4	MyHC – IIb		222,859	1,939	6703/404
3		Q91Z83	Myosin-7	MyHC – I – slow		222,879	1,935	902/126
1	LT	Q9BE40	Myosin-1	MyHC - IIx	<i>Bos taurus</i> (Bovine)	222,990	1,938	23354/598
2		F1MM07	Myosin-7	MyHC – I – slow		223,238	1,935	14318/515
1	ST	Q9BE40	Myosin-1	MyHC - IIx		222,990	1,938	26981/660
2		F1MM07	Myosin-7	MyHC – I – slow		223,238	1,935	9217/369

a. Individual bands obtained from gel (Fig. 1).

b. Accession number and protein names taken from the Uniprot database.

c. Myosin heavy chain.

d. Theoretical molecular weight.

e. Peptide size (amino acids) recorded in Uniprot database.

f. The MASCOT baseline significant score >78 / number of matched peptides.

Figure 5 - Electrophoresis profile of myosin heavy chain isoforms (MyHC) in *longissimus thoracis* (LT) and *semitendinosus* (ST) muscles of Nellore cattle.

Table 7 - Correlation analysis (above diagonal) and p-values (below diagonal) between carcass and meat quality traits, collagen, cholesterol and fiber types of Nellore animals with high and low gain rate in pre- and post-weaning phases finished in feedlot.

ITEM	HC Wkg	WBS F N	SL μ	CL %	TCol mg/g	ICol %	SCol %	Cho mg/100g meat	MyHC-IIx LT	MyHC-IIx ST	MyHC-I LT	MyHC-I ST
HCW, kg	1	0.09	0.32	0.31	-0.34	-0.05	0.05	0.02	-0.09	-0.11	0.09	0.11
WBSF, N	0.56	1	-0.12	0.02	-0.26	0.08	-0.08	0.17	0.12	-0.06	-0.12	0.06
SL, μ	0.03	0.44	1	0.32	0.17	0.03	-0.03	-0.18	0.12	0.17	-0.12	-0.17
CL, %	0.04	0.89	0.03	1	-0.30	0.26	-0.26	0.02	-0.07	0.14	0.07	-0.14
TCol, mg/g	0.02	0.08	0.25	0.04	1	-0.12	0.12	0.05	0.33	0.32	-0.33	-0.32
ICol, %	0.72	0.60	0.82	0.08	0.41	1	-1.00	0.01	0.05	-0.04	-0.05	0.04
SCol, %	0.72	0.60	0.82	0.08	0.41	2.2 x e⁻¹⁶	1	-0.01	-0.05	0.04	0.05	-0.04
Cho, mg/100g meat	0.90	0.27	0.25	0.91	0.75	0.92	0.92	1	0.14	-0.04	-0.14	0.04
MyHC-IIx LT	0.55	0.44	0.42	0.67	0.03	0.75	0.75	0.37	1	0.07	-1.00	-0.07
MyHC-IIx ST	0.49	0.69	0.27	0.37	0.03	0.79	0.79	0.82	0.67	1	-0.07	-1.00
MyHC-I LT	0.55	0.44	0.42	0.67	0.03	0.75	0.75	0.37	2.2 x e⁻¹⁶	0.67	1	0.07
MyHC-I ST	0.49	0.69	0.27	0.37	0.03	0.79	0.79	0.82	0.67	2.2 x e⁻¹⁶	0.67	1

PREW¹=Pre-weaning, L³= Low (67.87 ± 9.576); H⁴= High (71.65±7.213); PROW²=Post-weaning, L³= Low (119.40±43.76); H⁴= High (137.31±40.417), HCW= Hot Carcass Weight, WBSF= Warner Bratzler Shear Force, *7 days of aging, SL= Sarcomere Length, CL=Cooking Losses, TCol= Collagen Total mg collagen/ g meat; Icol= Collagen insoluble, %; SCol= collagen soluble, LT= *Longissimus thoracis*, ST= *Semitendinosus*.

Considerações Finais

A predição de seleção de animais para a alta e baixa taxa de ganho de peso de nas fases pré-desmame e pós-desmame terminados em confinamento apresentam benefícios para as características de carcaça, promovendo maior peso de carcaça quente e, conseqüentemente, maior rendimento de carcaça. Sendo assim, esses indicadores produtivos permitem maior retorno financeiro ao produtor, além de maior produtividade e quantidade de carne produzida.

No entanto, para as análises de qualidade de carne, as taxas de ganho ou suas interações não influenciaram a maioria dos atributos de qualidade de carne, exceto a composição de alguns ácidos graxos desejáveis à saúde humana.

No entanto, as indústrias frigoríficas não remuneraram o produtor para essa característica, portanto, cabe a ele eleger economicamente o que seja mais rentável na propriedade. Ressalta-se que o perfil de ácidos graxos na carne apresenta relação direta com o colesterol plasmático e o surgimento de doenças cardiovasculares.

A seleção de taxa de ganho de peso em bovinos é amplamente utilizada como critério de seleção de eficiência animal, em geral, está positivamente relacionada ao potencial genético, precocidade e acabamento de carcaça. Por outro lado, nossos estudos, mostraram efeitos mínimos sobre a qualidade da carne, sugerindo assim, a realização de um maior desafio de ganho entre as diferentes fases da vida do animal, a fim de elucidar maior efeitos da taxa de crescimento animal sobre as características de carne, como maciez, solubilidade de colágeno, espessura de gordura subcutânea e tipos de fibras musculares.

Implicações

As características de crescimento do nascimento ao pós-desmame são de significativa importância econômica e possibilitam a avaliação do potencial genético do crescimento de animais precoces. Estas diferenças, quando encontradas podem inclusive direcionar o manejo de terminação dos animais, a fim de estratificar a carne dos animais abatidos para mercados, com diferentes remunerações. É fato que a curva de ganho durante o período de pré desmame e recria influenciarão as características de carcaça e carne dos animais, desta forma, o período de pré desmame até a fase de recria, em geral, são essenciais na busca de animais mais eficientes, resultando em carcaças e carne de melhor qualidade.

Contudo, neste estudo, os animais foram submetidos a um bom manejo de cria e recria, não expondo os animais a um maior desafio de manejo e restrição alimentar, ocasionando sutis diferenças entre os tratamentos. Também, acredita-se que, além do sutil efeito na taxa de ganho, a terminação dos animais em confinamento possa ter igualado o efeito de diferenças na curva de crescimento nas fases pré-desmame e pós-desmame, não demonstrando impacto na qualidade de carne.

O uso de técnicas de seleção assistida por marcadores moleculares, genotipagem e análises hormonais (leptina e IGF-I), poderia auxiliar na complementariedade do estudo, visto que hormônios como a leptina e o IGF-I resultariam numa compreensão mais complexa e completa sobre a taxa de ganho de peso no crescimento animal. Contudo, ao considerar o impacto que a ação conjunta dos fatores exerce sobre a composição corporal, de acordo com os resultados deste estudo, os critérios de seleção para taxa de ganho de peso ao longo da vida do animal possibilitou demonstrar que há efeitos somente nas características de carcaça, sendo fator considerado positivo devido a remuneração em peso de carcaça quente pago ao produtor.