

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

JUAN FERNANDO MORALES GÓMEZ

Efeito do sistema de terminação, da taxa de ganho e do critério de abate sobre as características de qualidade de carne de bovinos Angus x Nelore

Pirassununga

2021

JUAN FERNANDO MORALES GÓMEZ

Efeito do sistema de terminação, da taxa de ganho e do critério de abate sobre as características de qualidade de carne de bovinos Angus x 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 Doutor em Ciências

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal

Orientador: Prof. Dr. Saulo da Luz e Silva

Pirassununga

2021

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

M828e Morales Gómez, Juan Fernando
Efeito do sistema de terminação, da taxa de ganho e do critério de abate sobre as características de qualidade de carne de bovinos Angus x Nelore / Juan Fernando Morales Gómez ; orientador Saulo da Luz e Silva. -- Pirassununga, 2021.
120 f.

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

1. Crescimento animal. 2. Sistema de terminação a pasto. 3. Sistema de terminação em confinamento. 4. Metabolismo post mortem. 5. Qualidade de carne. I. da Luz e Silva, Saulo , orient. II. Título.



CERTIFICADO

Certificamos que a proposta intitulada "Efeito do sistema de terminação, taxa de ganho e critério de abate sobre as características de qualidade de carne de bovinos Angus x Nelore", protocolada sob o CEUA nº 2648101217, sob a responsabilidade de **Saulo da Luz E Silva** - que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica ou ensino - está de acordo com os preceitos da Lei 11.794 de 8 de outubro de 2008, com o Decreto 6.899 de 15 de julho de 2009, bem como com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de 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 31/01/2018.

We certify that the proposal "Effect of the finishing system, rate of gain and slaughter criteria on meat quality characteristics of Angus x Nelore cattle", utilizing 80 Bovines (80 males), protocol number CEUA 2648101217, under the responsibility of **Saulo da Luz E Silva** - which involves the production, maintenance and/or use of animals belonging to the phylum Chordata, subphylum Vertebrata (except human beings), for scientific research purposes or teaching - is in accordance with Law 11.794 of October 8, 2008, Decree 6899 of July 15, 2009, as well as with the rules issued by the National Council for Control of Animal Experimentation (CONCEA), and was **approved** by the Ethic Committee on Animal Use of the School of Animal Science and Food Engineering - (São Paulo University) (CEUA/FZEA) in the meeting of 01/31/2018.

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

Vigência da Proposta: de **01/2018** a **01/2019**

Área: **Bovinocultura de Corte**

Origem: **Animais de proprietários**

Espécie: **Bovinos**

sexo: **Machos**

idade: **18 a 20 meses**

N: **80**

Linhagem: **Nelore x Angus**

Peso: **360 a 410 kg**

Resumo: Objetiva-se com este trabalho avaliar o efeito do sistema de terminação, da taxa de ganho de peso e do critério de abate nas características de qualidade de carne de machos castrados Angus x Nelore. O experimento será realizado utilizando delineamento em blocos casualizados (peso vivo inicial) em um arranjo fatorial 2 x 2 x 2, sendo, dois sistemas de terminação (pasto e confinamento), duas taxas de ganho (alta e baixa) e dois critérios de abate (peso de abate e tempo de alimentação). Serão utilizados 75 machos castrados Angus x Nelore, com peso médio inicial de 400±30 kg e 20 meses de idade. No início do experimento, três animais serão separados aleatoriamente para serem abatidos, como animais referência, como forma de comparar características de carcaça, metabolismo post mortem, características da fibra muscular e qualidade da carne dos animais após o período de engorda. Dos 72 animais restantes, 36 animais serão alojados em confinamento experimental e 36 animais serão alocados em piquetes de capim Brachiaria brizantha cv. Marandu. Em cada sistema de terminação (confinamento e pasto) será definida duas taxas de ganho de peso distintas, ou seja, confinamento com elevada taxa de ganho de peso (18 animais), confinamento com baixa taxa de ganho de peso (18 animais), pasto com elevada taxa de ganho de peso (18 animais) e pasto com baixa taxa de ganho de peso diária (18 animais). Além disso, dos 18 animais de cada sistema de produção citado anteriormente, 9 animais serão abatidos ao atingir 510 kg de peso vivo e 9 animais serão abatidos após 110 dias de alimentação. Durante o período experimental serão avaliados o desempenho animal, o perfil sanguíneo e as características de carcaça por ultrassonografia. Após o abate, serão avaliados o perfil metabólico, a abundância de algumas enzimas glicolíticas e oxidativas, e o perfil morfológico de dois músculos (Longissimus e Semitendinosus) durante o post-mortem. Além disso, serão avaliadas as características de qualidade da carne como a cor, a perda por cocção, a força de cisalhamento em diferentes tempos de maturação, como também, será avaliado o comprimento de sarcômero, a concentração de lipídio intramuscular total, a vida útil de prateleira, a oxidação lipídica e o perfil de ácidos graxos. Adicionalmente serão realizadas análises de aceitação da carne pelo consumidor por meio de análise sensorial

Local do experimento: O estudo será realizado no Campus da Universidade de São Paulo em Pirassununga-SP, Brasil. No Laboratório de Avaliação Animal e Qualidade de Carne (LAAQC) da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA).

Pirassununga, 05 de fevereiro de 2018



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

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

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



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Efeito do sistema de terminação, taxa de ganho de peso e critério de abate sobre as características de qualidade de carne de bovinos Angus x Nelore

Pesquisador: DANIEL SILVA ANTONELLO

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 11344619.8.0000.5422

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE DE SAO PAULO

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 3.326.354

Apresentação do Projeto:

O sistema de terminação do gado, a pasto ou confinado, bem como taxa de ganho de peso e idade ao abate influenciam na qualidade da carne. O presente estudo propõem a criação de bovinos Nelore x Angus a pasto e confinado, submetidos a diferentes taxas de ganho de peso diário e critérios de abates e análise comparativa entre os dois sistemas quanto as características da carne. A análise será composta por estudo ultrassonográfico, perfil sanguíneo, metabolismo post-mortem e análise sensorial. Para análise sensorial serão utilizados 100 indivíduos que vão classificar quatro amostras de acordo com características visuais e gustativas. Os resultados obtidos com essa pesquisa poderão ajudar a direcionar a cadeia produtiva a produzir carne mais eficientemente dentro de cada peculiaridade obtida entre os sistemas de terminação.

Objetivo da Pesquisa:

O estudo tem como objetivo avaliar o efeito de diferentes sistemas de terminação, o impacto da diferença nas taxas de ganho de peso diário e do critério de abate sobre as características sensoriais da carne de machos castrados Angus x Nelore

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

O estudo não oferece benefícios para os participantes.

O risco foi caracterizado como possibilidade de intoxicações e alergias alimentares.

Endereço: Avenida Duque de Caxias Norte, 225

Bairro: Campus Universitário da USP **CEP:** 13.635-900

UF: SP **Município:** PIRASSUNUNGA

Telefone: (19)3565-4299 **Fax:** (19)3565-4114 **E-mail:** cepfzea@usp.br



USP - FACULDADE DE
ZOOTECNIA E ENGENHARIA
DE ALIMENTOS DA



Continuação do Parecer: 3.326.354

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

O TCLE caracteriza adequadamente os objetivos, métodos, riscos e benefícios.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Todos os documentos foram apresentados de forma adequada.

Recomendações:

No TCLE, recomenda-se substituir o termo "garante a indenização eventual" por "se responsabiliza pelos danos"

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Aprovação do projeto.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este CEPH FZEA aprova o desenvolvimento do projeto, a partir desta data, e recomenda substituir a expressão "garante a indenização eventual" por "se responsabiliza pelos danos", no TCLE.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1316758.pdf	02/04/2019 12:26:13		Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.pdf	02/04/2019 12:25:54	DANIEL SILVA ANTONELLO	Aceito
Folha de Rosto	Folha_rosto_assinada.pdf	30/03/2019 11:03:12	DANIEL SILVA ANTONELLO	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_detalhado.pdf	19/03/2019 17:04:24	DANIEL SILVA ANTONELLO	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Endereço: Avenida Duque de Caxias Norte, 225

Bairro: Campus Universitário da USP **CEP:** 13.635-900

UF: SP **Município:** PIRASSUNUNGA

Telefone: (19)3565-4299 **Fax:** (19)3565-4114 **E-mail:** cepfzea@usp.br



USP - FACULDADE DE
ZOOTECNIA E ENGENHARIA
DE ALIMENTOS DA



Continuação do Parecer: 3.326.354

PIRASSUNUNGA, 15 de Maio de 2019

Assinado por:
Judite das Graças Lapa Guimarães
(Coordenador(a))

Endereço: Avenida Duque de Caxias Norte, 225
Bairro: Campus Universitário da USP **CEP:** 13.635-900
UF: SP **Município:** PIRASSUNUNGA
Telefone: (19)3565-4299 **Fax:** (19)3565-4114 **E-mail:** cepfzea@usp.br

JUAN FERNANDO MORALES GÓMEZ

Efeito do sistema de terminação, da taxa de ganho e do critério de abate sobre as características de qualidade de carne de bovinos Angus x 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

Data de aprovação: ___/ ___/ ____

Banca Examinadora:

Prof. Dr. _____

Instituição _____

Presidente da Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição _____

Prof. Dr. _____

Instituição _____

Prof. Dr. _____

Instituição _____

Prof. Dr. _____

Instituição _____

DEDICATÓRIA

A Deus que me deu a vida, que sempre guia meu caminho e que me abençoou com uma maravilhosa família e grandes amigos.

Aos meus Pais, Fernando Morales e Claudia Gómez, e meus irmãos Daniel e Alejandra pela sua dedicação, apoio, esforço, amor e por serem a minha motivação para sempre vencer.

A meu avô Tulio, por ser meu grande exemplo de vida.

A toda minha família por sempre me apoiar.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ser quem guia minha vida e escolhe meus caminhos, desafios e batalhas.

A meus pais Fernando Morales e Claudia Gómez, meus irmãos Daniel e Alejandra, por seu amor, seu exemplo, por serem minha maior motivação. Muito obrigado por ter me apoiado para realizar meu estagio, mestrado e meu doutorado aqui no Brasil, embora isso significou estar separados por muitos anos, muitos desafios e muitos esforços. Meu eterno agradecimento para eles.

A meus avôs e minhas avós, meus tios e tias, primos e primas, e toda minha família, por seu amor, apoio e bons momentos vividos.

A meu orientador e amigo, o Professor Saulo da Luz e Silva por todas as oportunidades que ele me deu desde que cheguei para fazer meu estagio obrigatório, foram muitos momentos de aprendizado e de amizade. Agradeço por cada um desses momentos de parceria, confiança, apoio, conselhos (que foram muitos) e também pelas cervejas e churrascos. Minha admiração e eterno agradecimento.

Ao Prof. Dr. Dave Gerrard da Virginia Tech (EUA), pela oportunidade de poder trabalhar junto e de poder fazer meu intercambio na VT, pelos ensinamentos e conselhos, e também pelas cervejas, tequilas, cachaças e todos os bons momentos vividos em Pirassununga e em Blacksburg.

Aos professores Paulo Leme, Luciane Martello, Arlindo Saran Netto, Angelica Pereira, Rosana Corte, e em especial a Rodrigo Goulart pela sua ajuda, apoio e ensinamentos durante a pós-graduação e execução deste estudo.

A minha namorada Aska pela parceria, amor e apoio em todos os momentos. Sua companhia e a da Hana, foram muito importantes para poder terminar com sucesso esta fase da pós-graduação.

A minha família Republica Caipira e meus irmãos Fabio, Guilherme, Talles (Salsicha), Henrique, Danilo (Cuseco), Douglas (Imbesil), Thiago (Kumi), Igor, André (Gaúcho), João e Bongo, pelos conselhos, companheirismo, risadas, churrascos e grandes momentos vividos, por ser minha família aqui no Brasil.

À meus amigos que fiz no LAAQC, no CEBER e na USP, Madeline Mazon, Keni Nubiato, Lina Pulido, Dione, Ricardinho, Aninha, Robertinha, Barbara Roqueto, Adrielle, Henrique Bueno, Juliana Silva, Guilherme Sene, Guilherme Bueno, Juliana Balage, Danielle Martarim, Thays, Nara Consolo, Anderson Cabral, Fabiane Costa, Lenise, Vicente Buarque, Gabriel Lemes, Laura Toseti, Aricia, Maria Eduarda, Carlos

Granghelli, Prisila, Manuel e Camylla Pedrosa, pela sua amizade, apoio e bons momentos, e em especial aos meus grandes amigos Daniel Antonelo, Mariane Beline, Bruna Pavan e Danilo Brito pela sua grande ajuda e esforço incalculável na execução deste estudo, a qual foi indispensável para concluir esta fase com sucesso. Agradeço também pela nossa amizade, pelos bons momentos, risadas, conselhos, ensinamentos, apoio, parceria, ajuda e churrascos.

À meus amigos e estagiários Rafael (Gafanhoto), Ana Julia, Cassiano (Favoravel), Larissa (Larissinha), Isabela, Raul (Caruncho), Parideira, Daniela Vasco, Daniela Almeida, Vitor (Molão), Edson (Chico), Lucas (Tampa), Gabriel (Boça), Amanda (Skavurska), Erica (Xai), Lídia (Limão), Enzo, Ilnara, Danielle (Mancha), Gabriela (Lost), Caroline (Kaxota), Gabriela (Serra), Felipe (Gangorra), Estevão, João (Rastoio), Carolina (Delay), Gabriela (laranja), Flavia (Caisarra), Victor, Larissa de Moura, Caroline, Fernanda, Larissa Flavio, Brenda (Xefa), Camilo, Luisa, Raquel (Tam) e toda equipe do LAAQC que ajudou em algum momento durante a execução deste estudo, para todos eles meu muito obrigado pela ajuda e bons momentos vividos.

Aos meus amigos da Virginia Tech, Nicholas, Laila, Con-Ning, Kellen, Morgan, Chuck, Joselyn, Jessy, Jessica, Jordan, Madison, Sam, Adam, Claire, Beth, Zeck, Dr. Shi, Dr. Vitor Mercadante, Alvaro, Sabrina, Deraldo, Lais, Bruno, Pedro, Renata, Helena, Galvão, Guillermo, Stefania, Luciana, Rafael, Rodrigo, Paulo, Sebastian, Nestor, Juan Veronica e Veridiana, por todos os bons momentos vividos, pelos ensinamento e ajuda.

A todos meus amigos colombianos que conheci na USP e aqui no Brasil que sempre me ajudaram, me deram bons conselhos e vivemos grandes momentos juntos.

Aos funcionários da USP, Ricardinho, Dione, João, Vitinho, Cláudio e todo o pessoal da fábrica de rações, ao Elso, Andreza, Dito, Mauricio Scharlack e Mauricio Pagott pela ajuda sempre no abatedouro, ao Valdir, Gustavo, Paulinho, Ricardo, Luis Tadeu e a todos os funcionários da USP que sempre me ajudaram em tudo o que precisei.

À Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização do meu doutorado.

À Universidad de Cundinamarca e professores que ajudaram na minha formação pessoal e profissional, por todos os aprendizados e momentos inesquecíveis.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio com bolsa no início do meu doutorado, a que tornou possível a realização dessa etapa.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio com a bolsa de doutorado (processo nº 2018/01434-8) e com a bolsa de intercambio (BEPE processo nº 2018/25320-1).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro para o desenvolvimento parcial deste estudo (Processo nº 430664/2018-4)

A todos os mencionados, meus sinceros agradecimentos!!!

RESUMO

GOMEZ, J. F. M. **Efeito do sistema de terminação, da taxa de ganho e do critério de abate sobre as características de qualidade de carne de bovinos Angus x Nelore.** 2021. 120 F. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade São Paulo, Pirassununga. 2021.

O objetivo deste estudo foi explorar o impacto da taxa de ganho (TG) e do sistema de terminação sobre as características de crescimento, metabolismo muscular, metabolismo pós morte e qualidade de carne de bovinos abatidos com base no peso vivo ($530 \text{ kg} \pm 20 \text{ kg}$) ou no tempo de alimentação (140 dias). Setenta e dois machos castrados cruzados Angus x Nelore foram designados aleatoriamente para um dos quatro tratamentos: 1) confinamento, alta TG (C-A); 2) confinamento, baixa TG (C-B); 3) pasto, alta TG (P-A); e 4) pasto, baixa TG (P-B). Periodicamente, ao longo do estudo, os animais foram pesados e avaliados, por ultrassonografia, quanto à deposição de tecido muscular e de gordura subcutânea. No momento do abate, foram coletados dados sobre as características de carcaça, além de amostragens do músculo *Longissimus thoracis* (LT) para análises de glicólise *in vitro*. Após 24 horas de resfriamento da carcaça, foram coletadas amostras do músculo LT para análises de metabólitos e expressão de enzimas relacionadas com o metabolismo energético. Além disso, foram coletadas amostras do músculo LT para avaliar a cor e a força de cisalhamento em 3 tempos de maturação (0, 7 e 14 dias de maturação), na qual as amostras maturadas por 7 dias também foram avaliadas por um painel sensorial de aceitação do consumidor. Todos os dados foram analisados utilizando o procedimento MIXED do software SAS a partir de um delineamento inteiramente casualizado, no qual o tratamento foi considerado como efeito fixo e cada critério de abate foi analisado separadamente. Houve interação entre tratamento e o tempo de alimentação para as características de peso vivo e deposição de músculo e gordura em ambos os critérios de abate ($P < 0,05$). Houve interação entre tratamento e o tempo de maturação para as características de cor (L^* , a^* e b^*) e força de cisalhamento em ambos os critérios de abate ($P < 0,05$). Animais C-A e C-B apresentaram carnes não-maturadas mais macia e com maiores valores de L^* quando comparada com animais P-A e P-B. No entanto, a carne dos animais C-A apresentou maiores valores de a^* e b^* quando comparada com a de animais P-A e P-B ($P < 0,05$), enquanto a carne dos animais CB apresentou valores semelhantes de a^* e b^* quando comparada com a de animais P-A e P-B. O processo de

maturação alterou a cor da carne e os valores de força de cisalhamento, o qual também foi dependente do critério de abate. No critério de abate com base no peso, a carne de animais C-A apresentaram maiores valores de L^* quando comparadas com os outros tratamentos ($P < 0,05$), além de apresentar maiores valores de b^* quando comparado com a de animais P-A e P-B ($P < 0,05$). Entretanto, no critério de abate com base no tempo de alimentação, a carne de animais CA apresentou maiores valores de L^* quando comparada com a de animais PA e PB ($P < 0,01$), além de maiores valores de a^* e b^* quando comparada com a dos outros tratamentos quando maturadas por 7 e 14 dias ($P < 0,05$). Além disso, a maturação por 14 dias eliminou a diferença na força de cisalhamento entre os animais terminados a pasto e confinamento quando abatidos com base no peso ($P < 0,05$), entretanto isto não aconteceu quando abatidos com base no tempo de alimentação ($P > 0,05$). No painel sensorial, os consumidores preferiram carne de animais terminados em confinamento (CA e CB) quando comparado com animais terminados a pasto (PA e PB) ($P < 0,01$). Animais terminados a pasto, principalmente animais PB, apresentaram um metabolismo energético muscular mais direcionado para a via oxidativa. Além disso, animais PB quando abatidos com base no tempo de alimentação apresentaram maiores valores de pH quando comparado com animais terminados em confinamento ($P < 0,05$), o que não foi observado quando os animais foram abatidos com base no peso vivo. Portanto, o sistema de alimentação e a TG têm um efeito pronunciado sobre o metabolismo muscular e pós morte e, conseqüentemente, na qualidade de carne, no qual o sistema de terminação aparenta ser o principal responsável pelos atributos de luminosidade, maciez e aceitação sensorial da carne, enquanto a TG exerce principalmente um efeito nos atributos cromáticos da cor da carne. Além disso, a carne escura de animais terminados a pasto pode estar relacionada com carcaças leves e magras e/ou com um metabolismo muscular mais oxidativo.

Palavras-chaves: cor da carne, crescimento muscular, glicólise, maturação, sistemas de alimentação.

ABSTRACT

GOMEZ, J. F. M. **Effect of the finishing system, gain rate and slaughter criterion on the meat quality characteristics of Angus x Nelore cattle.** 2021. 120 F. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade São Paulo, Pirassununga. 2021.

The aim of this study was to explore the impact of the gain rate (GR) and the finishing system on growth characteristics, muscle metabolism, post-mortem metabolism and meat quality of cattle slaughtered based on live weight ($530 \text{ kg} \pm 20 \text{ kg}$) or feeding time (140 days). Seventy-two Angus x Nelore crossbred males were randomly assigned to one of four treatments: 1) feedlot, high GR (FH); 2) feedlot, low GR (FL); 3) pasture, high GR (PH); and 4) pasture, low GR (PL). Periodically throughout the study, the animals were weighed and evaluated by ultrasound for the muscle tissue and subcutaneous fat deposition. At slaughter, data on carcass characteristics were collected and *Longissimus thoracis* (LT) muscle was sampled for further in vitro glycolysis analysis. After 24 h of carcass cooling, LT muscle samples were collected for further analysis of metabolites and enzymes expression related to energy metabolism. In addition, LT muscle samples were collected to evaluate color and shear force at 3 aging times (0-, 7- and 14-days aging), in which samples aged for 7 days were also evaluated by a sensory panel of consumer acceptance. All data were analyzed using the MIXED procedure of the SAS software from a completely randomized design, in which the treatment was considered as a fixed effect and each slaughter criterion was analyzed separately. There was an interaction between treatment and feeding time for live weight and muscle and fat deposition in both slaughter criteria ($P < 0.05$). The FH and FL animals showed non-aged meat more tenderness with higher L^* values when compared to PH and PL animals. However, meat from FH animals showed higher a^* and b^* values when compared to that from PH and PL animals ($P < 0.05$), while the meat from FL animals showed similar a^* and b^* values when compared to that from PH and PL animals. The aging process modified the beef color and shear force values, which also was dependent on the slaughter criterion. In the slaughter criterion based on weight, meat from FH animals showed higher L^* values when compared with that from other treatments ($P < 0.05$), in addition to presenting higher b^* values when compared with that from PH animals and PL ($P < 0.05$). However, in the slaughter criterion based on feeding time, meat from FH animals showed higher L^* values

when compared with that from PH and PL animals ($P < 0.01$), in addition to a higher a^* and b^* value when compared with that from other treatments when aged for 7 and 14 days ($P < 0.05$). In addition, aging for 14 days mitigated the difference in shear force between animals finished on pasture and feedlot when slaughtered based on weight ($P < 0.05$); however, this difference was not observed when animals were slaughtered based on feeding time ($P > 0.05$). In the sensory panel, consumers preferred meat from animals finished in feedlot (FH and FL) when compared to animals finished in pasture (PH and PL) ($P < 0.01$). Animals finished in pasture, mainly PL animals, showed a muscle energy metabolism more directed towards the oxidative pathway. In addition, PL animals showed higher pH values when compared to animals finished in feedlot when slaughtered based on feeding time ($P < 0.05$), which was not observed when the animals were slaughtered based on live weight. Therefore, the feeding system and GR have a pronounced effect on muscle metabolism and postmortem and, consequently, on meat quality, in which the finishing system appears to be the main responsible for the attributes of lightness, tenderness and sensory acceptance of the meat, while GR mainly has an effect on the chromatic attributes of meat color. In addition, the dark meat from animals finished on pasture may be related to light and lean carcasses and/or to a more oxidative muscle metabolism.

Keywords: aging, beef color, feeding systems, glycolysis, muscle growth.

LISA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Desenvolvimento do mesoderma inicial e comprometimento das células progenitoras mesenquimatosas em linhagens de células miogênicas e fibro-adipogênicas durante o desenvolvimento do músculo fetal.....	19
Figura 2. Dinâmica das taxas de crescimento de vários tecidos e vários locais do corpo de animais alimentados para a) taxa de crescimento elevada ou b) taxa de crescimento lenta.....	23
Figura 3. Curva de crescimento seguindo formato sigmoide característica.....	24
Figura 4. Organização geral do músculo.....	26
Figura 5. Estrutura interna da fibra muscular.....	28
Figura 6. Etapas do processo de contração muscular.....	29
Figura 7. Esquema do metabolismo oxidativo.....	35
Figura 8. Esquema da glicólise.....	38
Figura 9. Diferentes quedas de curva de pH no metabolismo <i>post-mortem</i>	43
Figura 10. Fatores que controlam a queda do pH no metabolismo <i>post-mortem</i>	45
Figura 12. Média e erro padrão da média (<i>t</i>) da espessura de gordura subcutânea (EGS_U) e espessura de gordura na picanha (EGP_U) avaliada por ultrassonografia de acordo com o tempo de alimentação e dos tratamentos.....	70
Figura 13. Médias, erro padrão (<i>t</i>) e probabilidades de valores de cor de acordo com o período de maturação e o sistema de terminação. As figuras A, C e E representam os animais abatidos com base no peso final e as figuras B, D e F dos animais abatidos a tempo na alimentação.....	74
Figura 14. Médias, erro padrão da média (<i>t</i>) e probabilidades da força de cisalhamento de acordo com o período de maturação e o sistema de terminação no critério de abate por peso (A) e por tempo de alimentação (B).	76
Figura 15. Alteração relativa da expressão por western blot da lactato desidrogenase (LDH-A) em relação ao confinamento com alto crescimento (C-A), da succinato desidrogenase (SDH-A) e da mioglobina em relação ao pasto com baixa taxa de crescimento (P-B) quando abatidos com base no tempo de alimentação.....	104
Figura 16. Alteração relativa da expressão por western blot da lactato desidrogenase (LDH-A) em relação ao confinamento com alto crescimento (C-A), da succinato desidrogenase (SDH-A) e da mioglobina em relação ao pasto com baixa taxa de crescimento (P-B quando abatidos com base no peso.	105
Figura 17. pH e concentrações de glicogênio, lactato, glicose e glicose-6-fosfato de amostras de músculo Longissimus submetidas a um sistema de glicólise <i>in vitro</i> de animais alimentados a pasto e confinamento com diferentes taxas de ganho de peso abatidos com base no tempo de alimentação.	107
Figura 18. pH e concentrações de glicogênio, lactato, glicose e glicose-6-fosfato de amostras de músculo Longissimus submetidas a um sistema de glicólise <i>in vitro</i> de animais alimentados a pasto e confinamento com diferentes taxas de ganho de peso abatidos com base no peso corporal.	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Isoformas de miosina no músculo esquelético de mamífero	31
Tabela 2. Características de fibras musculares em animais domésticos.....	32
Tabela 3. Ingredientes e composição química (com base na matéria seca) da dieta usada no confinamento, dos suplementos e do pasto utilizado.	62
Tabela 4. Médias, Erro Padrão da média (\pm) e probabilidade ($Pr < F$) do efeito do sistema de terminação e taxa de ganho de peso no desempenho nos dois critérios de abate.....	67
Tabela 5. Médias, Erro Padrão da média (\pm) e probabilidade ($Pr > F$) do efeito do sistema de terminação e taxa de ganho de peso no desempenho e características da carcaça nos dois critérios de abate.	72
Tabela 6. Caraterização dos consumidores que participaram da análises sensorial.....	78
Tabela 7. Médias, Erro Padrão da média (\pm) e probabilidade ($Pr > F$) do efeito do sistema de terminação e taxa de ganho de peso nos atributos de aceitação sensorial da carne nos dois critérios de abate.	80
Tabela 8. Médias, Erro Padrão da média (\pm) e probabilidade ($Pr > F$) do efeito do sistema de terminação e taxa de ganho de peso nos análise de clusters da aceitação geral da carne nos dois critérios de abate.	81
Tabela 9. Médias, erro padrão da média (\pm) e probabilidade ($Pr > F$) do efeito do sistema de terminação e taxa de ganho de peso nas características de cor nos dois critérios de abate.	101
Tabela 10. Média, média do erro padrão (SEM) e probabilidades ($Pr > F$) do efeito do sistema de terminação e taxa de ganho de peso no pH final, metabólitos glicolíticos e potencial glicolítico do músculo <i>Longissimus</i> nos dois critérios de abate.....	103

SUMÁRIO

1. Capítulo I. Revisão de literatura.....	19
1.1. <i>Desenvolvimento e crescimento do músculo</i>	19
1.2. <i>Metabolismo muscular</i>	33
1.3. <i>Metabolismo muscular post-mortem.....</i>	40
1.4. <i>Efeitos dos sistema de terminação, taxa de crescimento e critério de abate sobre as características de produção e qualidade de carne</i>	47
1.5. <i>Referências.....</i>	51
2. Capítulo II. Desempenho, características de carcaça avaliadas por ultrassom e qualidade de carne	59
2.1. <i>Introdução</i>	59
2.2. <i>Material e métodos.....</i>	60
2.3. <i>Resultados</i>	66
2.4. <i>Discussão</i>	82
2.5. <i>Conclusão.....</i>	90
2.6. <i>Referencias.....</i>	91
3. Capítulo III. Metabolismo post-mortem in vivo e in vitro.....	95
3.1. <i>Introdução</i>	95
3.2. <i>Material e métodos.....</i>	96
3.3. <i>Resultados</i>	100
3.4. <i>Discussão</i>	110
3.5. <i>Conclusões</i>	116
3.6. <i>Referencias.....</i>	117

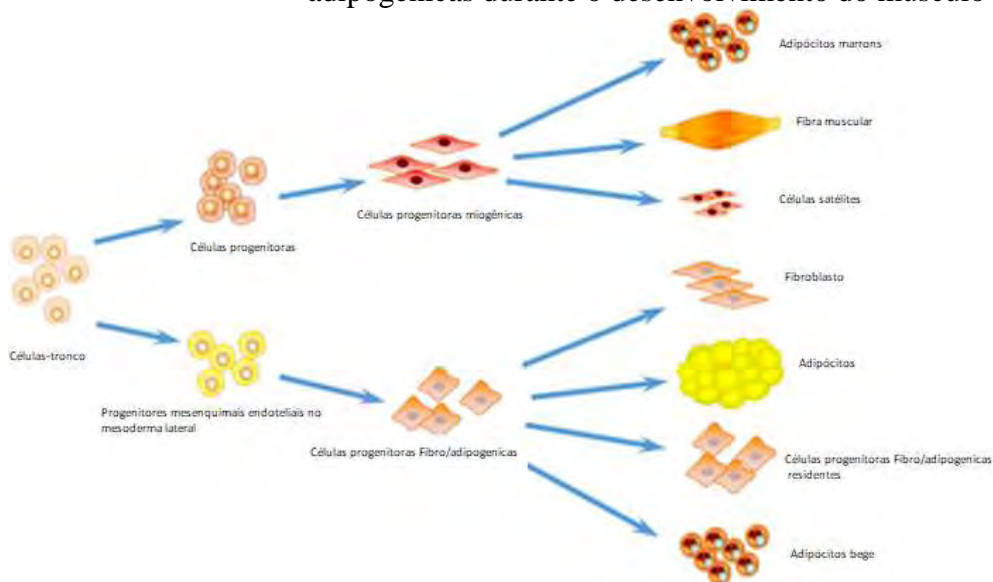
1. Capítulo I. Revisão de literatura

1.1. Desenvolvimento e crescimento do músculo

Desenvolvimento da fibra muscular

Biologicamente, o desenvolvimento do músculo esquelético inicia durante a fase embrionária, o qual é composto principalmente de células musculares, adipócitos e fibroblastos (DU et al., 2010). Durante a fase fetal, as células do músculo esquelético bem como os adipócitos são derivados do mesmo pool de células tronco mesenquimais, as quais a maioria delas desenvolvem células miogênicas (Fig. 1) (DU et al., 2015).

Figura 1. Desenvolvimento do mesoderma inicial e comprometimento das células progenitoras mesenquimatosas em linhagens de células miogênicas e fibro-adipogênicas durante o desenvolvimento do músculo fetal.



Fonte: adaptado de Min Du et al. (2015)

Uma porção de células tronco mesenquimais se comprometem com a linhagem miogênica como resultado de receber sinais dos tecidos vizinhos, os quais regulam a expressão do Pax 3 e Pax 7 (DU; HUANG; DAS, 2012; DU et al., 2015). As células que receberam os sinais e expressaram o Pax3 e Pax7, iniciaram a expressão de fatores

reguladores miogênicos (MRF) tais como o fator miogênico-5 (Myf-5) e diferenciação miogênica 1 (MyoD), que comprometem essas células com a linhagem miogênica. Posteriormente, os mioblastos em proliferação passam por um processo de diferenciação e expressão de genes específicos do músculo. Os mioblastos também iniciam a expressão de outro MRF importante, a miogênica, o qual é necessário para a formação de miotubos multinucleados. As primeiras miofibras são formadas na primeira miogênese que acontece no estágio embrionário, a segunda miogênese acontece no estágio fetal, no qual é desenvolvido o maior número de fibras musculares. (DU; HUANG; DAS, 2012; DU et al., 2015; WANG et al., 2016).

As células satélites estão localizadas entre a lâmina basal e o sarcolema das fibras musculares maduras; a sua proliferação e fusão com fibras musculares existentes são cruciais para o crescimento muscular pós-natal (KUANG et al., 2007). As células satélites são consideradas grupos de células com diferentes graus de comprometimento miogênico. Uma pequena porcentagem dessas células é multipotente e pode se diferenciar em adipócitos ou fibroblastos em vez de células miogênicas (WANG et al., 2016).

Desenvolvimento do adipócito

O tecido adiposo contém uma variedade de células, incluindo células tronco, pré-adipócitos, fibroblastos e adipócitos (figura 1.). Os progenitores de adipócitos são derivados do mesoderma lateral e provavelmente têm uma origem endotelial. Essas células progenitoras também possuem capacidade fibrogênica e são denominadas progenitoras fibro/adipogênicas (FAPs) (JOE et al., 2010; UEZUMI et al., 2011). As células positivas ao receptor do fator de crescimento derivados de plaquetas (PDGFR α), são células progenitoras para a adipogênese (JOE et al., 2010; UEZUMI et al., 2011). Durante o desenvolvimento pós-natal, uma parte das FAPs permanece na fração vascular estromal do tecido adiposo, que se torna a fonte de pré-adipócitos e adipócitos durante o posterior desenvolvimento do tecido adiposo (DU; HUANG; DAS, 2012). A adipogênese pode ser separada em dois estágios, determinação adipogênica e diferenciação adipogênica, que são regulados por Zfp423 e receptores ativados por proliferadores de peróxidos γ (PPAR γ) respectivamente (LADEIRA et al., 2016; WANG et al., 2016).

Na fase adulta, as células tronco do tecido adiposo atuam como um reservatório e permitem a contínua renovação dos adipócitos, que a partir de pré-adipócitos diferenciados, secretam BMP4, o qual inicia a cascata de eventos que leva a ativação do PPAR γ e, conseqüente, ao metabolismo de lipídios (GUSTAFSON et al., 2015). O desenvolvimento do tecido adiposo é inseparável da formação do tecido conjuntivo, tanto a adipogênese quanto a fibrogênese compartilham a mesma linhagem celular. A adipogênese e a fibrogênese começam juntamente, formando o tecido adiposo e tecido conjuntivo associado. Os fibroblastos também sintetizam o tecido conjuntivo envolvendo os feixes musculares, formando a estrutura básica do músculo (WANG et al., 2016).

Crescimento muscular

Segundo Owens et al. (1995) o crescimento animal é definido como o acréscimo de proteína, gordura e osso. Esse incremento de massa dos tecidos, em especial de proteína e gordura, é gerado por dois mecanismos, a hiperplasia e a hipertrofia. Em bovinos, a primeira formação de fibras musculares acontece nos dois primeiros meses após a concepção (RUSSELL; OTERUELO, 1981). Entretanto, somente um número limitado de fibras musculares são formadas durante esta primeira miogênese (DU et al., 2010). A maior formação de fibras musculares acontece na fase fetal (entre dois e sete ou oito meses de gestação), após este período diminui a formação destas células e sua formação finaliza no momento do nascimento (OWENS; DUBESKI; HANSONT, 1993; DU et al., 2010, 2015). Por outro lado, a formação de adipócitos em bovinos começa antes da metade da gestação (BONNET et al., 2010). A maioria dos adipócitos são formados durante o estágio fetal e o início do estágio pós-natal. Entretanto, a hiperplasia dos adipócitos da gordura intramuscular inicia no último terço da gestação e pode ir até os 250 dias após o nascimento em animais bovinos (DU et al., 2015).

O outro mecanismo de crescimento muscular é a hipertrofia (aumento do tamanho da célula). A hipertrofia das fibras musculares em bovinos começa no último terço da gestação e continua após o nascimento durante toda sua vida (OWENS; DUBESKI; HANSONT, 1993). Segundo Du et al. (2015), em bovinos de corte, a hipertrofia do adipócito (sem ser o adipócito da gordura intramuscular) começa após o nascimento e continua ao longo de toda

a vida, porém, a hipertrofia do adipócito da gordura intramuscular começa aproximadamente após 250 dias de vida e continua até seu abate.

Segundo Owens et al. (1993), o crescimento líquido é a diferença entre a síntese e degradação dos tecidos do corpo, sendo os dois processos contínuos. A relação entre esses dois processos também é conhecida como “*turnover*”. Certos tecidos associados ao processo de digestão (por exemplo, o trato gastrointestinal e o fígado) têm um *turnover* mais rápido de células e de proteínas do que o músculo esquelético, só o trato digestivo pode representar 28 a 46% da síntese de proteína do corpo inteiro (OWENS; DUBESKI; HANSONT, 1993). Assim, apesar de sua massa, o músculo esquelético não pode ser o principal sítio de síntese proteica, mesmo em ruminantes em rápido crescimento (OWENS; DUBESKI; HANSONT, 1993).

O crescimento e tamanho do músculo é determinado pelo balanço do *turnover* proteico dentro do músculo. Segundo Koohmaraie et al. (2002) existem três cenários que podem levar a hipertrofia do músculo, o primeiro é um incremento na síntese de proteína e diminuição da degradação da proteína, a segunda, incrementar a síntese e a degradação da proteína, promovendo que o incremento na síntese de proteína seja maior que o incremento da degradação. E por último, diminuir a síntese e degradação de proteína, resultando que a diminuição na degradação de proteína seja maior que a diminuição na síntese de proteína.

Entretanto, o marmoreio não resulta só do tamanho do adipócito intramuscular, mas também do número de adipócitos presente neste tecido adiposo (Schoonmaker 2012). De modo geral, o tamanho da gordura intramuscular depositada em bovinos adultos resulta do balanço entre a síntese e degradação de triglicerídeos (HOCQUETTE; GRAULET; OLIVECRONA, 1998). Em adição, a taxa de deposição de gordura intramuscular não depende só do número e atividade intrínseca do adipócito intramuscular, também depende da taxa de crescimento do músculo e da atividade metabólica de outros órgãos (HOCQUETTE et al., 2009).

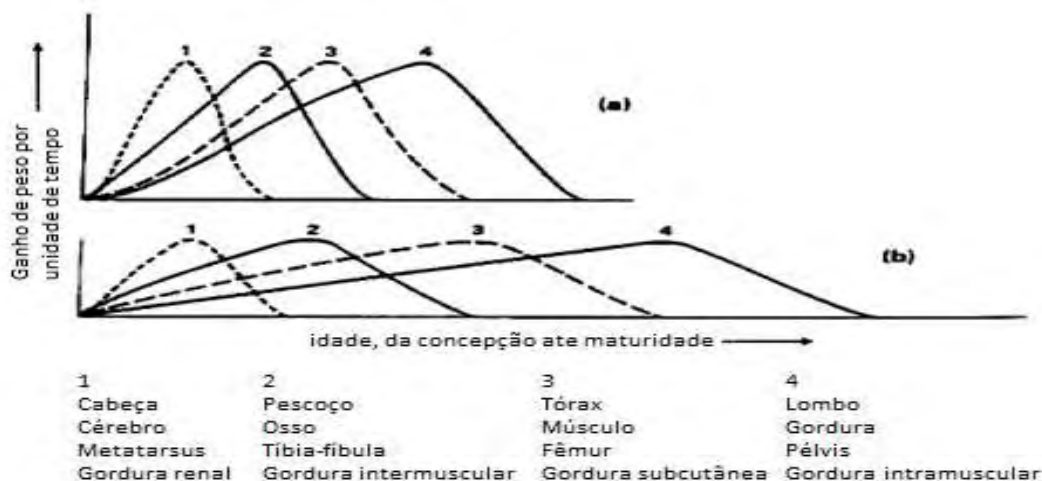
Segundo Ladeira et al. (2016), para a deposição de gordura intramuscular que acontece na terminação de bovinos, a energia líquida consumida deve superar as suas exigências. Portanto, o grau de gordura intramuscular muda em função do conteúdo de energia da dieta (SMITH; CROUSE, 1984). Embora, níveis plasmáticos elevados de acetato promovam maior formação de ácidos graxos em adipócitos extra musculares, o propionato e

o lactato podem ser precursores da síntese de ácidos graxos intramusculares em ruminantes, pois são convertidos em acetil-CoA e entram no ciclo de Krebs (LADEIRA et al., 2016). O propionato é convertido em glicose no fígado, que pode entrar subsequentemente na via glicolítica, entrar no ciclo de Krebs e tornar-se um doador de carbono na síntese de novos ácidos graxos. De acordo com Gilbert et al. (2003), o tecido adiposo intramuscular usa uma alta proporção de glicose para a síntese de ácidos graxos, enquanto o tecido adiposo subcutâneo utiliza principalmente acetato para a síntese lipídica.

Curva de crescimento e composição do ganho

Segundo Owens et al. (1995), os órgãos e os tecidos do corpo não amadurecem simultaneamente (Figura 2.). Sendo assim, a taxa relativa de crescimento dos tecidos do corpo pode mudar a forma do mesmo ao longo do tempo. Além disso, a deposição de alguns componentes do músculo, tal como a gordura intramuscular é mais tardia quando comparada com outros componentes do músculo.

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

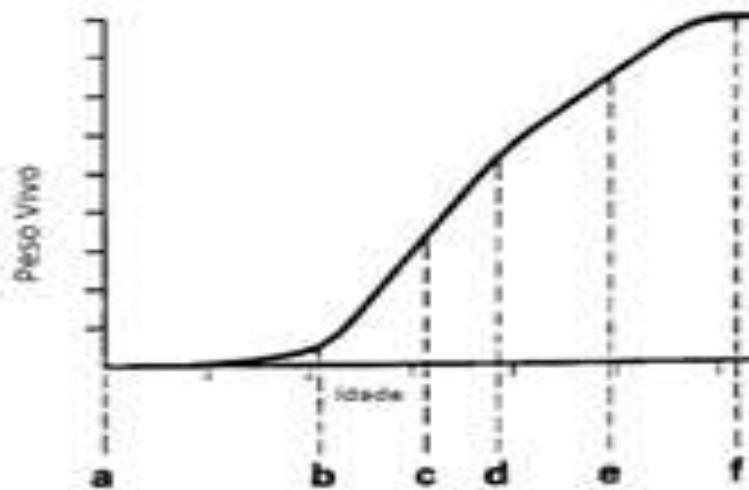


Fonte: Adaptado de Owens et al. (1993)

Quando os animais são criados sob condições alimentares e ambientais normais, o padrão de crescimento ou curva de crescimento tem formato de S. Essa curva é composta por pontos que representam a) concepção, b) nascimento, c) fase de auto-aceleração, d) ponto de

inflexão frequentemente associado à puberdade, e) fase auto-retardadora, e f) maturidade (Figura 3) (OWENS; DUBESKI; HANSONT, 1993).

Figura 3. Curva de crescimento seguindo formato sigmoide característica.



Fonte: Adaptado de Owens et al. (1993)

Na maioria das espécies, o ponto de inflexão de uma fase de crescimento acelerada para uma fase de crescimento desacelerada, ocorre aproximadamente na idade a puberdade (OWENS; DUBESKI; HANSONT, 1993). Os modelos de crescimento preditivos evoluíram agora para modelos mais mecanicistas e dinâmicos de crescimento e composição corporal. O crescimento deve ser diferenciado do desenvolvimento. Nos mamíferos, o desenvolvimento cronológico, fisiológico, social, mental e emocional prossegue segundo taxas de crescimento diferentes. Nos diferentes estágios da curva de crescimento, a composição corporal do animal segue de acordo com o tempo de vida, e sendo esta influenciada por diferentes fatores intrínsecos e extrínsecos dos animais e seu sistema de produção (OWENS et al., 1995; GERRARD; GRANT, 2007).

Com o fim de avaliar as mudanças na curva de crescimento, deve-se medir com precisão o crescimento e a composição do corpo ou da carcaça. Isto é importante para avaliação de desempenho, da classificação e da seleção (OWENS; DUBESKI; HANSONT, 1993; OWENS et al., 1995). A estimativa da composição corporal do animal vivo pode ser avaliada visualmente, mas isso pode ser muito subjetivo para o operador (MCGEE et al.,

2007). Medidas corporais ou lineares, como o comprimento do dorso; altura na cernelha; altura e largura da garupa, circunferência e profundidade do tórax; e da mesma forma, as medidas de carcaça, como o comprimento e a profundidade da carcaça e a largura do comprimento da perna e a espessura, que são fisicamente medidas usando uma fita, é usada para caracterizar tamanho e forma. Estas características fazem parte de avaliação de musculatura no animal vivo e da conformação na carcaça (MCGEE et al., 2007).

A curva de crescimento bem como a composição corporal do animal pode ser influenciada por diferentes fatores intrínsecos do animal tais como idade e maturidade, “*frame*” ou porte do animal, genética, raça e sexo. Também por fatores extrínsecos, como a nutrição, o ambiente, a atividade física, entre outros. Essas mudanças na curva de crescimento e na composição do ganho tem como base mudanças na estrutura muscular e em todos os tecidos corporais, considerando que dentro do corpo existem diferenças de estrutura, de função e de maturidade dos tecidos, o qual suas respostas frente a essas mudanças poderiam ser diferentes entre eles (OWENS; DUBESKI; HANSONT, 1993; OWENS et al., 1995; GERRARD, D. E.; GRANT, 2007).

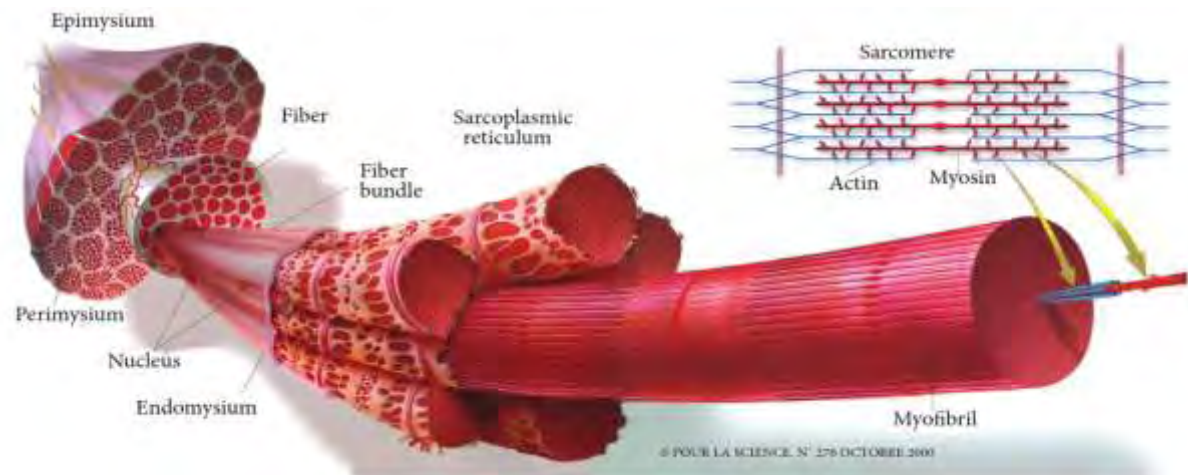
Estrutura muscular

O músculo esquelético tem uma ampla diversidade de formas, tamanhos, localização anatômica e função fisiológica (PURSLOW, 2017). Além disso, o músculo é composto aproximadamente por 90% de fibras musculares e aproximadamente 10% de tecidos conectivo, adiposo, vascular e nervoso (PURSLOW, 2017). Em especial, as fibras musculares, o tecido conjuntivo intramuscular e a gordura intramuscular têm um efeito e função importante na determinação da qualidade de carne (LISTRAT et al., 2016).

A base para a integridade estrutural do músculo é o tecido conjuntivo (GERRARD; GRANT, 2007). O tecido conjuntivo no músculo esquelético é dividido em endomísio, que envolve cada fibra muscular, o perimísio, que envolve feixes de fibras musculares, e o epimísio, que o envolve o músculo (figura 4.; LISTRAT et al., 2016). Dessa forma, o músculo é a maior estrutura de conjunto de fibras que na sua superfície tem o epimísio, o qual serve para separar cada músculo dentro das distintas unidades, além de fornece caminhos para

nervos e vasos sanguíneos dentro do músculo (LISTRAT et al., 2016). Cada músculo tem no mínimo uma artéria, uma veia e um feixe de nervos (GERRARD; GRANT, 2007).

Figura 4. Organização geral do músculo.



Fonte: Adaptado de Listrat et al. (2016)

Dentro deste tecido conjuntivo (epimísio), existe um feixe de fibras musculares que está envolvida pelo perimísio. Ainda, nesta estrutura há um feixe de fibras primário que contém aproximadamente 20 a 40 fibras musculares, como também um grupo de vários feixes de fibras primários formam o feixe de fibras secundários, o qual está envolvido no tecido conjuntivo perimisial. Além disso, o marmoreio ou gordura intramuscular é a gordura depositada dentro do tecido conjuntivo perimisial em volta e entre os feixes. Cada feixe está formado por numerosas fibras individuais, as quais estão rodeadas por outro tecido conjuntivo conhecido como endomísio (GERRARD; GRANT, 2007; LISTRAT et al., 2016; PURSLOW, 2017).

Fibra muscular

As fibras musculares são células individuais e multinucleadas, além de ser considerada a base da estrutura do músculo e carne. Cada fibra tem sua própria membrana basal que cobre a membrana plasmática celular, constituída por uma bicamada de fosfolipídios, conhecida como sarcolema. (Figura 5.; GERRARD; GRANT, 2007; PURSLOW, 2017). A principal organela dentro de cada célula muscular são as miofibrilas,

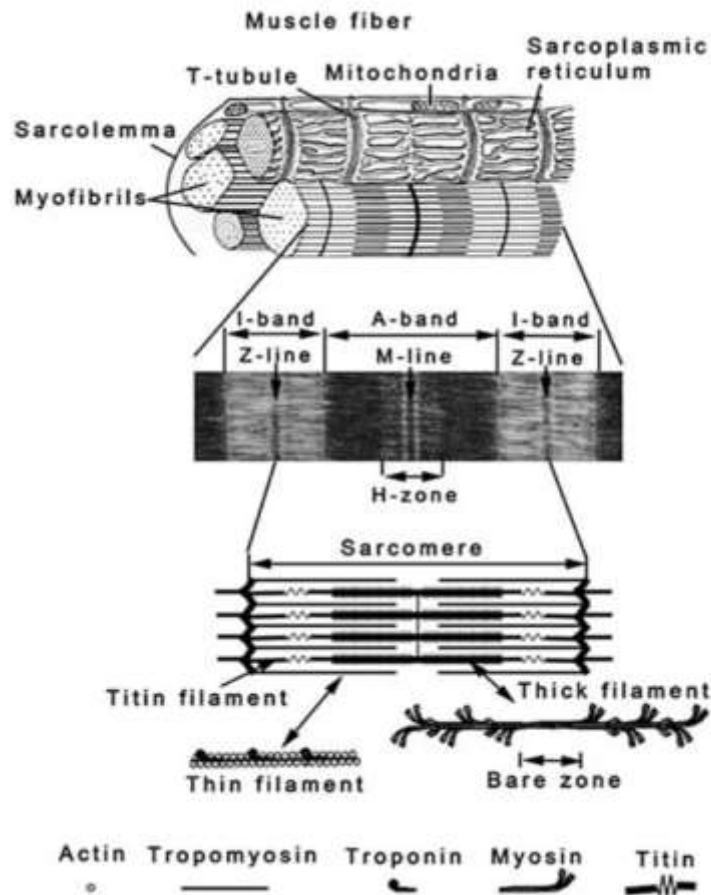
as quais possuem aproximadamente diâmetro de 1 μm , e o número de miofibrilas dentro da fibra é extremamente variável, contendo entre 1000 a 2000 unidades de miofibrilas em fibras adultas, ocupando cerca de 80% do volume sarcoplasmático (GERRARD; GRANT, 2007; LISTRAT et al., 2016; PURSLOW, 2017). O retículo sarcoplasmático é uma membrana que circunda cada miofibrila, cuja função é armazenar e liberar íons de cálcio. As extensões do sarcoplasma que se estendem perpendicularmente da superfície da célula para o centro da célula com o fim de atingir o retículo sarcoplasmático de todas as fibras são os túbulos T (GERRARD; GRANT, 2007; LISTRAT et al., 2016; PURSLOW, 2017).

A energia para a célula é fornecida pelas mitocôndrias. O número de mitocôndrias em cada fibra muscular varia, encontrando maior número de mitocôndrias em fibras com metabolismo oxidativo e em menor quantidade em fibras com metabolismo glicolítico (GERRARD; GRANT, 2007). A célula muscular também contém numerosas proteínas solúveis (proteínas sarcoplasmáticas) que são principalmente constituídas pelas enzimas responsáveis pelo metabolismo geral da célula. (GERRARD; GRANT, 2007; PURSLOW, 2017). A miofibrila é composta por proteínas que são insolúveis em condições fisiológicas e estão formadas por repedidas unidades longitudinais, conhecida como sarcômero. O sarcômero é considerado a menor unidade contrátil da célula muscular. Além disso, o comprimento de sarcômero é o espaço entre duas linhas Z, sendo seu comprimento médio de 2.5 μm . Este comprimento pode mudar de 4.0 μm quando está severamente esticado até 0.9 quando está muito contraído (GERRARD; GRANT, 2007).

Dois conjuntos de miofilamentos se encontram longitudinalmente dentro do sarcômero: os filamentos finos, compostos principalmente de actina, juntamente com as proteínas reguladoras tropomiosina e troponina, e o filamentos grossos, composta principalmente de miosina. A banda A é o comprimento dos filamentos grossos que mantém um comprimento constante no músculo. A banda I é a distância entre o ponto de sobreposição dos filamentos finos na metade do sarcômero, por meio do disco Z e até o ponto de filamento fino se sobrepõem na próxima metade do sarcômero. O comprimento da banda I varia com a contração muscular e o relaxamento. A zona H é a região ligeiramente menos densa da banda A, onde os filamentos finos não se sobrepõem com filamentos grossos, novamente, o comprimento dessa zona varia com o comprimento do sarcômero, à medida que o músculo aumenta ou se contrai. No meio da banda A, existe uma estrutura que atravessa

transversalmente o sarcômero, a linha M, que estabiliza os filamentos grossos (GERRARD; GRANT, 2007; PURSLOW, 2017).

Figura 5. Estrutura interna da fibra muscular.



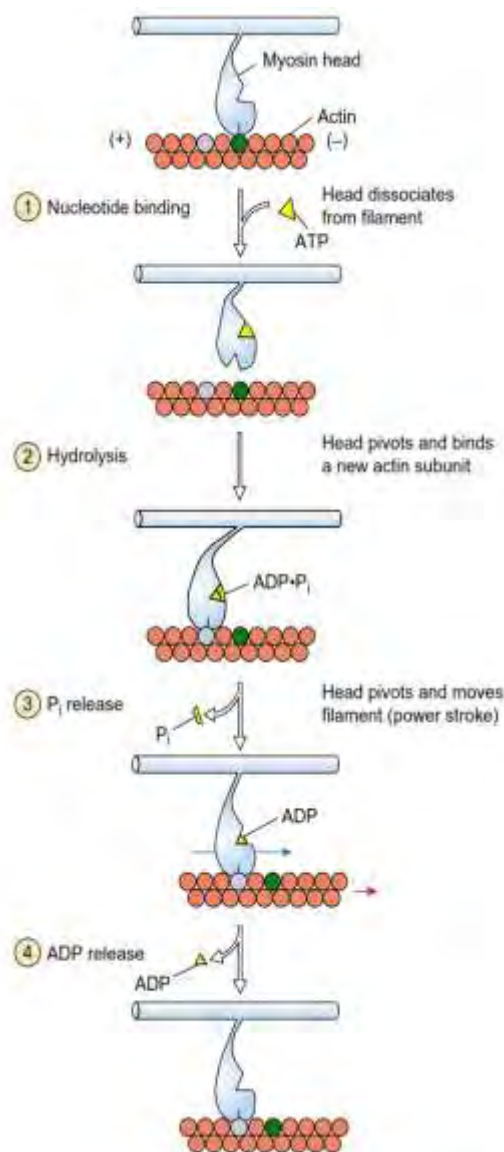
Fonte: Purslow P. (2017).

Contração da fibra muscular

Do ponto de vista mecânico, a principal função do músculo esquelético é converter energia química em energia mecânica para gerar força, manter a postura, e produzir movimento (GERRARD; GRANT, 2007). O músculo contrai em resposta a estimulações neurais causando liberação de cálcio no sarcoplasma, o qual quando excede um limiar regulatório, a miosina e actina se interagem para criar movimento por meio do consumo de Adenosina Trifosfato (ATP) (via ATPase miofibrilar), cuja hidrólise converte energia

química em energia mecânica. Ou seja, as pontes de miosina durante interações transitórias com ligações do filamento de actina, agem como transdutor biológico de energia (FERGUSON; GERRARD, 2014). De acordo com Lodish; Bedrk; Zipursky et al. (2000) e Purslow (2017), o ciclo das pontes cruzadas possui quatro etapas (Figura 6.), na qual se inicia com a ligação do ATP à cabeça da miosina fazendo com que ela se desassocie da actina (etapa 1).

Figura 6. Etapas do processo de contração muscular.



Fonte: Freeman, W.H. (2000)

Posteriormente, o ATP é hidrolisado à ADP e o músculo volta ao repouso, com a actina sendo bloqueada para se ligar a miosina devido ao complexo troponina-tropomiosina. A partir de um estímulo elétrico, o cálcio é liberado pelo retículo sarcoplasmático, ligando-se ao complexo da troponina, movendo a tropomiosina e permitindo a ligação da cabeça da miosina com a actina (etapa 2), o qual libera o fosfato inorgânico (Pi) e promove uma mudança na conformação da cabeça, desencadeando um movimento de força (etapa 3). Finalmente, o ADP é liberado (etapa 4) e, caso haja ATP disponível, a cabeça da miosina pode se ligar ao ATP, começando novamente o ciclo. A contração é terminada pelo sequestro de cálcio de volta ao retículo sarcoplasmático, o que leva o complexo tropomina-tropomiosina a bloquear a ligação de miosina e actina (PURSLOW, 2017).

Tipos de fibra muscular

De modo geral, as fibras podem ser classificadas por sua velocidade de contração e pelo seu metabolismo. Os músculos vermelhos têm maior proporção de fibras musculares de contração lenta, enquanto os músculos mais brancos têm uma maior proporção de fibras de contração rápida (GERRARD; GRANT, 2007; PURSLOW, 2017). Durante a contração muscular, o ATP é quebrado devido às suas interações com a miosina no ciclo da ponte cruzada, pela enzima ATPase (PURSLOW, 2017). Para classificar as fibras segundo sua velocidade de contração, utiliza-se o método de coloração histoquímica de secções transversais musculares para a atividade da ATPase. (GERRARD; GRANT, 2007; PURSLOW, 2017). Segundo Brooke; Kaiser (1970), as fibras podem ser classificadas em tipo I e II, as fibras do tipo I apresentaram baixa atividade de ATPase, por outro lado as fibras de tipo II apresentam uma maior atividade desta enzima. Segundo os mesmos autores, dividiram a categoria do tipo II, de acordo com a faixa de pH necessário para inibir a atividade da ATPase, produzindo tipo IIa, IIb e um tipo IIc, com inibição quase completa da atividade da ATPase e pH 4.5, 4.3 e 3.9, respectivamente.

A cadeia pesada de miosina é a proteína mais abundante expressa no músculo esquelético, que compreende cerca de 35% da associação de proteínas. A atividade ATPase da cadeia pesada de Miosina (MyHC) é fundamental para determinar a taxa da velocidade de contração. Pelo menos oito genes esqueléticos distintos da MyHC estão presentes nos

músculos estriados de mamíferos, incluindo duas células de desenvolvimento (embrionárias e fetais), um lento (tipo I ou b-cardíaco), três adultos de tipo II completo MyHC (IIa, IIX e IIb) (Tabela 1.; SCHIAFFINO; REGGIANI, 2011; PURSLOW, 2017).

Tabela 1. Isoformas de miosina no músculo esquelético de mamífero

Gene	Expressão de isoformas da cadeia pesada de Miosina (MyHC)	Local onde é expresso
MYH1	MyHC-2X	Fibra tipo IIX
MYH2	MyHC-2A	Fibra tipo IIA
MYH3	MyHC-emb	Desenvolvimento muscular
MYH4	MyHC-2B	Fibra tipo IIB
MYH7	MyHC-1 (Lenta)	Fibra tipo I
MYH8	MyHC-neo	Desenvolvimento muscular

Fonte: Adaptado de Schiaffino, S., Reggiani, C. (2011)

Além de classificar as fibras pela velocidade de contração também se classificam pelo tipo de metabolismo. Duas principais vias metabólicas são usadas para regenerar a ATP no músculo esquelético, a via aeróbica ou oxidativa, por meio da qual o glicogênio, a glicose, os aminoácidos, os corpos cetônicos e os lipídios podem ser oxidados nas mitocôndrias com alta exigência de oxigênio, ou a via anaeróbica ou glicolítica através do qual as reservas de glicogênio são rapidamente convertidas em lactato sem necessidade de oxigênio. (GERRARD; GRANT, 2007). O metabolismo aeróbico é suficiente para cobrir a demanda de energia quando o oxigênio é adequado e o músculo está trabalhando com baixa intensidade, mas se a contração prossegue mais rapidamente e com alta intensidade, o oxigênio torna-se limitante e o músculo terá que usar a via glicolítica anaeróbica rápida para fornecer energia. (GERRARD; GRANT, 2007; LEFAUCHEUR, 2010; PURSLOW, 2017).

Segundo Peter et al. (1972) usando a coloração histoquímica de seções musculares, identifica variações na atividade de enzimas utilizadas para produzir ATP (principalmente lactato desidrogenase e succinato desidrogenase), dessa forma classifica as fibras como oxidativa de contração lenta (SO), glicolítica de contração rápida (FG), ou glicolítica-oxidativo de contração rápida (FOG). Segundo o mesmo autor, sua classificação junto com a série de esquemas anteriores, incluindo o de Brooke; Kaiser (1970), sugeriu que o seu SO correspondesse a fibras musculares do tipo I, FOG ao tipo IIa e FG ao tipo IIb ou IIX.

Os tipos de fibras individuais apresentam diferentes características contráteis, metabólicas, fisiológicas, químicas e morfológicas, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Características de fibras musculares em animais domésticos.

Características	Tipo 1	Tipo 2A	Tipo 2X(D)	Tipo 2B
Vermelhidão	++++	+++	+	+
Quantidade de mioglobina	++++	+++	+	+
Diâmetro da fibra	+	+	+++	++++
Velocidade de Contração	+	+++	+++	++++
Resistência à fadiga	++++	+++	+	+
Ação de contração	tônico	tônico	fásico	fásico
Número de mitocôndria	++++	+++	+	+
Tamanho da mitocôndria	++++	+++	+	+
Densidade de capilares	++++	+++	+	+
Metabolismo oxidativo	++++	++++	+	+
Metabolismo glicolítico	+	+	+++	++++
Quantidade de lipídios	++++	+++	+	+
Quantidade de glicogênio	+	+	++++	++++
Espessura do disco Z	++++	+++	+	+

Fonte: Gerrard, D. E.; Grant, A. L. (2007).

As fibras oxidativas de tipo I possuem diâmetro de fibra menor, apresentam contração lenta e também baixa atividade da ATPase, além de sustentar o trabalho prolongado de baixa potência em associação com o metabolismo oxidativo bem desenvolvido e uma vascularização eficiente. (GERRARD; GRANT, 2007; PURSLOW, 2017). Essas fibras exibem uma alta sensibilidade ao Ca^{2+} e usam grandes quantidades de energia porque frequentemente são utilizadas para sustentar contrações dos movimentos básicos (baixa intensidade) (GERRARD; GRANT, 2007; LISTRAT et al., 2016). Segundo Lefaucheur (2010), as fibras do tipo I são pobres em glicogênio, porém elas são ricas em mioglobina e triglicérides, além de ser altamente resistentes à fadiga. Os músculos vermelhos com população de fibras SO mais elevada contêm mais mioglobina como transportador de oxigênio.

Por outro lado, as fibras de tipo IIb ou IIx apresentam metabolismo mais glicolítico, com altas atividades da ATPase, e podem suportar contrações breves e intensas, além de ser alimentadas pela disponibilidade imediata de fosfocreatina e degradação do glicogênio

realizada pela via glicolítica (LEFAUCHEUR, 2010; LISTRAT et al., 2016). Essas fibras exibem um alto limiar de excitação e não usam uma grande quantidade de energia *in vivo* porque ocasionalmente são recrutados para sustentar movimentos violentos de curta duração. Em associação com uma vascularização baixa e um diâmetro grande, as fibras glicolíticas são ricas em glicogênio, pobres em mioglobina e triglicérides, além de ser altamente fatigáveis (GERRARD; GRANT, 2007; LEFAUCHEUR, 2010; LISTRAT et al., 2016).

As características das fibras de tipo IIx são próximas a das fibras de IIb, exceto que as fibras de tipo IIx a velocidade de contração e o diâmetro da fibra é menor. Além disso, as fibras IIb tem um maior metabolismo glicolítico comparado com as fibras tipo IIx (GERRARD; GRANT, 2007; PURSLOW, 2017). Por outro lado, as fibras do tipo IIa apresentam propriedades contráteis e metabólicas intermediárias entre os tipos I e a fibra IIx. Em animais bovinos se encontram com maior frequência os tipos de fibra I, IIa e IIx, sendo escassa a frequência de fibras tipo IIb (GERRARD; GRANT, 2007; LISTRAT et al., 2016; PURSLOW, 2017).

Em adição, as fibras musculares são estruturas dinâmicas que apresentam alta plasticidade e sofrem mudança de tipo, seguindo uma via obrigatória nos dois sentidos I ↔ IIa ↔ IIx ↔ IIb (LEFAUCHEUR, 2010; SCHIAFFINO; REGGIANI, 2011; LISTRAT et al., 2016). As características histoquímicas musculares podem ser influenciadas por inúmeros fatores intrínsecos e extrínsecos, tais como a localização muscular, a espécie, a raça, o genótipo, o sexo, a idade, a atividade física, a temperatura ambiente, a nutrição e os agentes promotores do crescimento, além das interações entre eles (LEFAUCHEUR, 2010).

1.2. Metabolismo muscular

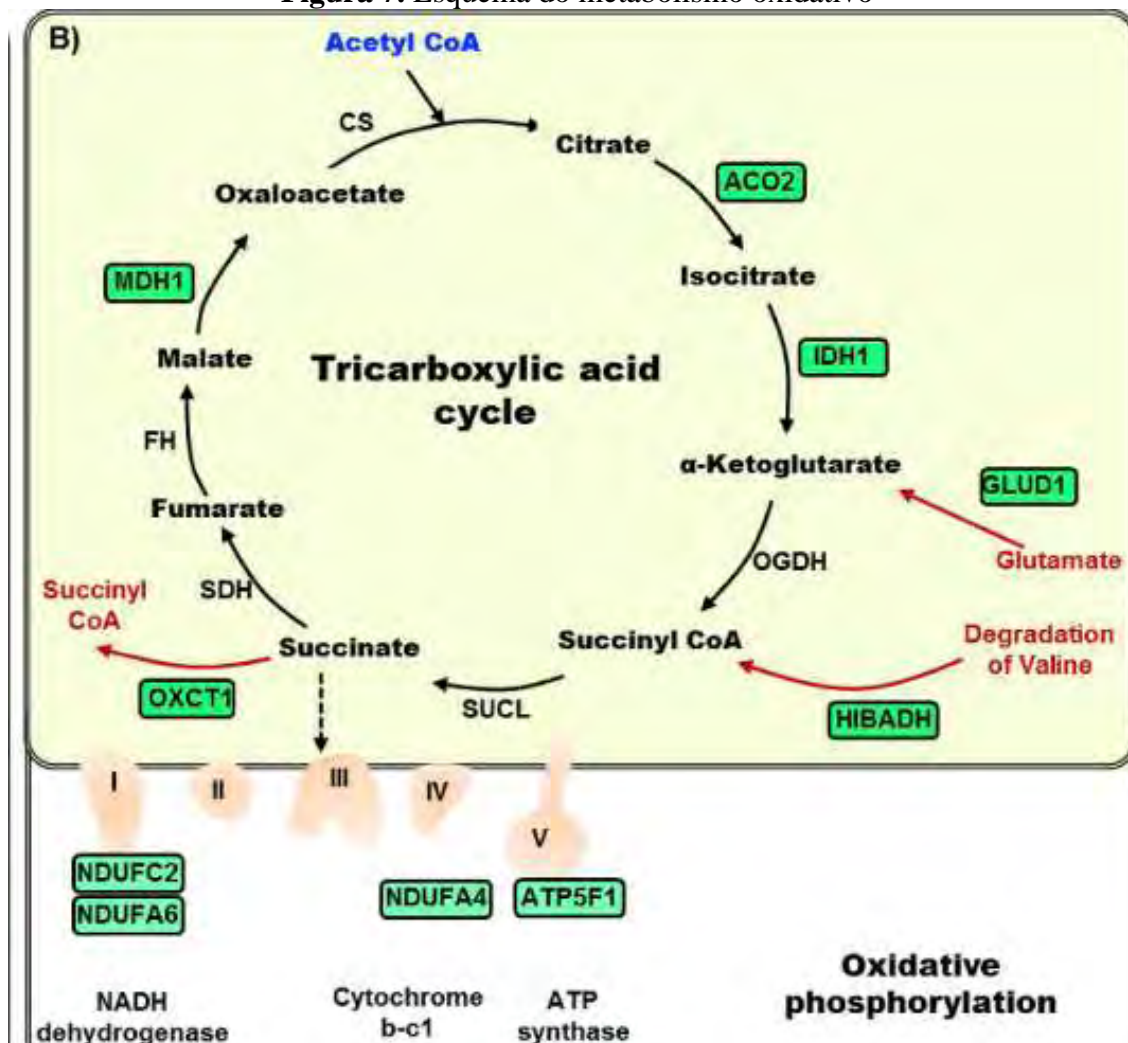
Segundo Matarneh et al. (2017), o metabolismo muscular é um processo adaptativo muito dinâmico, que pode levar a diferenças dramáticas no perfil metabólico e na composição do músculo. Entretanto, dependendo de fatores extrínsecos e intrínsecos, podem gerar diferenças acentuadas sobre a composição e atributos de qualidade da carne (MATARNEH et al., 2017). Segundo Scheffler et al. (2011), a quebra de ATP é balanceada pelas vias produtoras de energia que catabolizam nutrientes estocados, como glicogênio ou gordura, para gerar ATP. De acordo com os mesmos autores, o músculo em descanso tem demanda

energética relativamente menor quando comparadas com outros tecidos, tais como cérebro e fígado. Portanto, a necessidade de ATP pelo músculo em repouso é facilmente suprida pelo metabolismo aeróbico (oxidativo) (SCHEFFLER; GERRARD, 2007; SCHEFFLER; PARK; GERRARD, 2011). Quando inicia a contração muscular na presença de oxigênio suficiente ou em um estado de exercício de baixa intensidade, o piruvato é direcionado para as mitocôndrias e é metabolizado (oxidação) para sintetizar ATP (CONLEY; KEMPER; CROWTHER, 2001).

Metabolismo oxidativo

A respiração celular ocorre em três grandes estágios, no primeiro estágio as moléculas dos combustíveis orgânicos (glicose, ácidos graxos e alguns aminoácidos) são oxidados para liberar grupo acetil do acetil-coenzima (Acetil-CoA). No segundo estágio, esses grupos acetil são introduzidos no ciclo do ácido cítrico, o qual os oxida enzimaticamente até CO_2 (DAVID; NELSON; MICHEL, 2006). A energia liberada pela oxidação é conservada nos transportadores de elétrons reduzidos, NADH e FADH_2 . No terceiro estágio da respiração, essas coenzimas reduzidas são oxidadas, desfazendo-se de prótons (H^+) e elétrons. Os elétrons são conduzidos dentro da mitocôndria ao longo de uma cadeia de moléculas transportadoras de elétrons, conhecida como cadeia respiratória. Durante esse processo de transferência de elétrons, uma grande quantidade de energia é liberada e conservada na forma de ATP, por meio do processo chamado de fosforilação oxidativa. O catabolismo oxidativo da glicose libera muita mais energia que as vias de fermentação anaeróbicas (Figura 7.; DAVID; NELSON; MICHEL, 2006).

Figura 7. Esquema do metabolismo oxidativo



Fonte: GAGAOUA, M. et al. (2020)

Sistema fosfatagem

Além disso, outros mecanismos são ativados com o fim de suprir a demanda de energia. O primeiro mecanismo é o sistema fosfatagem, o qual começa com a produção imediata de ATP, através da síntese do ADP e da fosfocreatina (PCr), pela enzima creatina quinase, que é uma das proteínas solúveis do sarcoplasma: $ADP + PCr \rightarrow Creatina + ATP$. (MATARNEH et al., 2017). Segundo os mesmos autores, a concentração de PCr no músculo esquelético é de cerca de 30mM, quase 10 vezes mais que a concentração de ATP. O nível de PCr cai rapidamente ao longo da contração muscular, o nível ATP inicial é mantido

enquanto o PCr é esgotando. O aporte de ATP proveniente da PCr dura poucos segundos por suas reservas musculares serem baixas.

Quando o consumo de ATP continua sendo maior do que a produção, adenilato quinase (AK) ou myokinase gera ATP adicional através da reação: $ADP + ADP = ATP + AMP$. A geração de AMP é particularmente importante, por ser considerado um regulador do metabolismo energético em células musculares (WINDER; THOMSON, 2007). A reação final do sistema fosfatagem é mediada pela AMP desaminase ($AMP + H^+ \leftrightarrow IMP + NH_4^+$). Entretanto, é importante entender que as duas últimas reações ocorrem principalmente quando a respiração mitocondrial é incapaz de fornecer a energia necessária (ATP) exigida pelas células (SCHEFFLER; GERRARD, 2007; ENGLAND et al., 2013a; MATARNEH et al., 2017).

Metabolismo glicolítico

Esse processo muda rapidamente sob exercício mais intenso, onde o consumo de ATP excede a capacidade da célula para sintetizar ATP. Quando a energia necessária pelo músculo é maior da capacidade do sistema respiratório para gerar ATP, o processo de glicólise anaeróbica começa para produzir ATP. Esta é uma maneira rápida, mas menos eficiente, de obter energia e produz um declínio concomitante no pH intramuscular devido ao acúmulo de ácido láctico (FERGUSON; GERRARD, 2014; MATARNEH et al., 2017).

O músculo esquelético armazena o glicogênio como fonte de energia e, portanto, o glicogênio muscular desempenha uma função importante na manutenção da homeostase. No entanto, outros metabolitos, como acetato, ácidos graxos não esterilizados e corpos cetônicos também são oxidados (GERRARD; GRANT, 2007; MATARNEH et al., 2017). Outro aspecto crítico que determina características metabólicas do músculo é a disponibilidade de carboidratos, que é estritamente regulada em animais grandes, pois o sistema nervoso central requer um suprimento contínuo de glicose para satisfazer os requisitos energéticos. Sendo está a principal prioridade na regulação do metabolismo de carboidratos. (GERRARD; GRANT, 2007; MATARNEH et al., 2017)

Para fornecer as exigências de glicose ao sistema nervoso central, é necessária uma concentração de aproximadamente 2.5 a 5 mmol de glicose plasmática em ruminantes

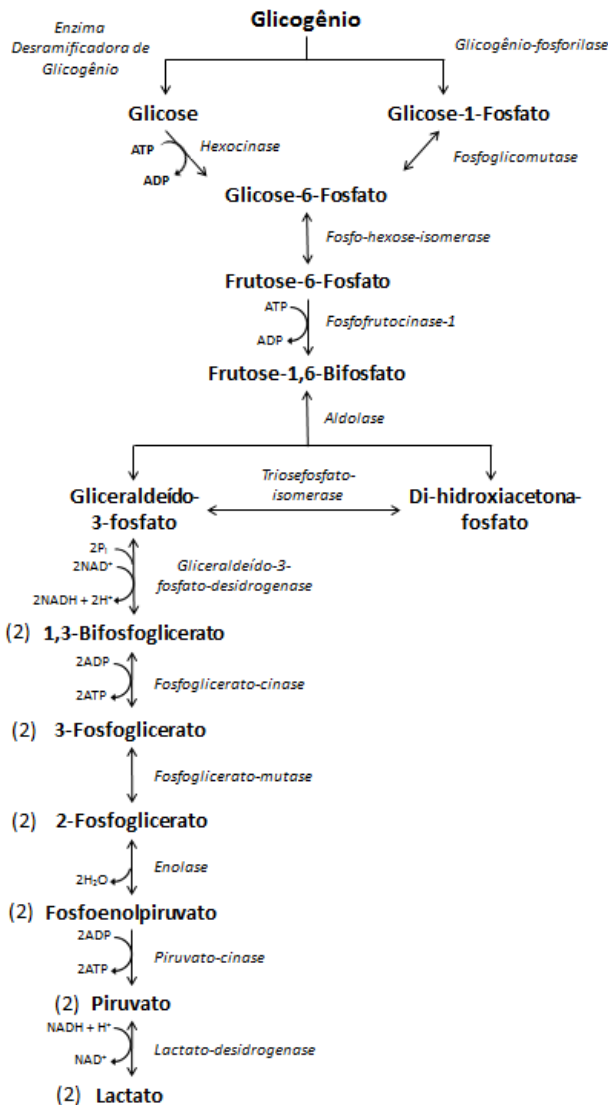
(AIELLO; MOSES, 2016). Esta tarefa complicada é realizada pelo fígado, que incorpora ativamente a glicose do sangue e o armazena como glicogênio no fígado, que é mobilizado de forma constante quando a concentração periférica da glicose é baixa. Além disso, a glicose também pode ser produzida no fígado por síntese endógena de proteínas ou ácidos graxos voláteis (principalmente ácido propiônico), sendo este último particularmente ativo em ruminantes (MATARNEH et al., 2017).

Glicogenólise e glicólise

O Glicogênio é a forma mais predominante de armazenamento de carboidratos no músculo esquelético, o qual representa entre 1% e 2% da massa muscular total. Este carboidrato existe na forma de grânulos (10 até 40 nm) no sarcoplasma da fibra muscular, o qual contém as enzimas necessárias para a glicogenólise (GERRARD; GRANT, 2007; FERGUSON; GERRARD, 2014; MATARNEH et al., 2017).

A glicogênio fosforilase e enzima desramificadora de glicogênio catalisam a degradação completa do glicogênio. Por um lado, a glicogênio fosforilase coloca fosfato inorgânico nas ligações α -1,4 das cadeias externas das moléculas de glicogênio para ser transformado em glicose-1-fosfato. (FERGUSON; GERRARD, 2014; MATARNEH et al., 2017), o qual a enzima fosfoglicomutase catalisa a glicose-1-fosfato em glicose-6-fosfato para poder entrar na glicólise. Por outro lado, a enzima desramificadora de glicogênio quebra as ligações α -1,6 do glicogênio, sendo este transformado em glicose livre para poder entrar na via glicolítica. Estas enzimas são diferencialmente expressas entre os tipos de fibras e podem ser afetadas por fatores extrínsecos, como o exercício (FERGUSON; GERRARD, 2014; MATARNEH et al. 2017).

A glicose tem seis carbonos e sua divisão é em duas moléculas de piruvato, cada uma com três átomos de carbono, ocorre pela glicólise que tem uma sequência de 10 passos os quais estão divididos em duas fases (Figura 8.; SCHEFFLER; GERRARD, 2007).

Figura 8. Esquema da glicólise

Fonte: Adaptado de Scheffler, T. L.; Gerrard, D. E. (2007).

Uma fase preparatória, na qual a glicólise é transformada em glicose-6-fosfato pela enzima hexoquinase, a qual precisa gastar um ATP para realizar processo. A Hexoquinase é considerada um ponto de controle da glicólise. Após disso, inicia a transformação da glicose-6-fosfato em frutose-6-fosfato pela enzima fosfo-glicose-isomerase. Depois deste processo, a enzima fosfofrutoquinase-1 (PFK-1) usa um ATP como fonte de fosfato para converter a frutose-6-fosfato em frutose-1,6-bifosfato, este passo não é reversivo, além de ser considerado o segundo ponto de controle da glicólise. A frutose-1,6-bifosfato é quebrada para liberar duas moléculas com três carbonos, a di-hidroxiacetona-fosfato e o gliceraldeído-

3-fosfato, nesse passo também acontece a transformação do di-hidroxiacetona-fosfato em gliceraldeído-3-fosfato pela enzima triosefosfato-isomerase. Assim com este processo termina a primeira fase da glicólise (SCHEFFLER; GERRARD, 2007; MATARNEH et al., 2017).

A segunda fase é conhecida como a fase de pagamento da glicólise, cada molécula de gliceraldeído-3-fosfato é fosforilada por um fosfato inorgânico para formar o 1,3-bifosfoglicerato. Neste processo também é utilizado 2NAD^+ e é liberando 2NADH e 2H^+ . Após disso, o 1,3-bifosfoglicerato é convertido em 3-fosfoglicerato pela enzima fosfoglicerato-quinase. Neste passo, ocorre a fosforilação de 2 moléculas de ADP em ATP, sendo estas as primeiras duas moléculas de ATP geradas pela glicólise. Após esse processo, o 3-fosfoglicerato é transformado em 2-fosfoglicerato pela enzima fosfoglicerato-mutase. Depois disso, a enzima enolase converte o 2-fosfoglicerato em fosfoenolpiruvato e liberando duas moléculas de água (SCHEFFLER; GERRARD, 2007; MATARNEH et al., 2017).

No último passo da glicólise, o fosfoenolpiruvato é transformado em piruvato pela enzima piruvatoquinase, além disso gerar outros 2 ATP pela fosforilação do ADP. A enzima piruvatoquinase também é considerada como outro ponto de controle da glicólise. Como resultado, para a hidrólise de cada molécula de glicólise são gastos 2 ATP na fase preparatória e são gerados 4 ATP na fase de pagamento, resultando num ganho neto de 2 ATP. (SCHEFFLER; GERRARD, 2007; MATARNEH et al., 2017)

O piruvato formado pela glicólise pode tomar três rotas catabólicas alternativas, em tecidos sob condições aeróbicas (abundância de oxigênio), a glicólise constitui apenas o primeiro estágio da degradação completa da glicose. O piruvato é oxidado com perda do seu grupo carboxila como CO_2 para liberar o grupo acetila da acetil-coenzima A, o qual é totalmente oxidada pelo ciclo de Krebs. Os elétrons originados dessas oxidações são passados para oxigênio por meio da cadeia de transportadores na mitocôndria, formando água. A energia liberada nas reações de transferências de elétrons permite a síntese de ATP nas mitocôndrias. (DAVID; NELSON; MICHEL, 2006; MATARNEH et al., 2017)

A segunda rota para o metabolismo do piruvato é a redução para lactato, quando o tecido muscular esquelético em contração vigorosa funciona sob condições de hipóxia (baixa pressão parcial de O_2), nessas condições o piruvato é reduzido a lactato pela enzima lactato-desidrogenase junto com a regeneração do NAD^+ , sendo este necessário para que o fluxo

glicolítico continue. E a última rota do metabolismo do piruvato é a fermentação alcoólica, que leva o piruvato ao etanol (DAVID; NELSON; MICHEL, 2006; GERRARD; GRANT, 2007).

1.3. Metabolismo muscular post-mortem

Conversão de músculo em carne

Durante o período post-mortem, uma cascata complexa de energia, bioquímica, e mudanças físicas ocorrem no músculo que resulta na sua conversão em carne. O processo começa logo após do abate quando muitos dos mecanismos homeostáticos do animal são interrompidos. À medida que o animal passa pelo processo de exsanguinação, vai entrando em anoxia. (MATARNEH et al., 2017). O músculo esquelético continua sintetizando e utilizar o ATP em uma tentativa fútil de sustentar a homeostase celular. Uma vez que o oxigênio é esgotado do músculo, os compostos de glicogênio e fosfato de alta energia presentes no músculo no momento da morte são metabolizados anaerobicamente para o único propósito da produção de ATP. O metabolismo anaeróbico é significativamente menos eficiente para gerar ATP do que o metabolismo aeróbico. Como resultado, a taxa de hidrólise de ATP excede sua geração, o que desencadeia o início do rigor (GERRARD; GRANT, 2007; FERGUSON; GERRARD, 2014; MATARNEH et al., 2017).

O rigor mortis tem três fases, a primeira é a fase de pre-rigor os músculos consomem o ATP disponível além de começar a gerar ATP pela via anaeróbica, o músculo perde gradualmente a capacidade de gerar ATP e, eventualmente, todas as moléculas de ATP estão esgotadas. A segunda fase é conhecida como a fase de rigor, na ausência de ATP, a miosina se liga irreversivelmente à actina, levando à conclusão do rigor mortis e à perda de excitabilidade e extensibilidade muscular. A última fase é o post-rigor, no qual finaliza o rigor mortis, isto ocorre às 1 e 12 h após a morte, dependendo principalmente da espécie, do tipo de fibra muscular e das condições pré e *post-mortem*. Durante a maturação da carne, a degradação proteolítica das proteínas citoesqueléticas provoca a perda de integridade estrutural muscular e, portanto, uma diminuição da tensão muscular gerada pelo rigor. (OUALI et al., 2006; ENGLAND et al., 2013a; MATARNEH et al., 2017)

Junto com essas mudanças, o músculo por entrar em estado de anoxia, não consegue realizar um metabolismo aeróbico para gerar energia, no qual as reservas de energia (glicólise e glicogênio) entram na via do metabolismo anaeróbico, no qual acontece uma acidificação do músculo quando é convertido em carne. Os produtos finais da glicólise no *post-mortem* são o lactato e hidrogênio. Como resultado, o pH muscular diminui gradualmente de cerca de 7,2 em tecidos vivos para um pH final próximo de 5,6. O declínio no pH do músculo *post-mortem* tem sido comumente atribuído ao aumento do ácido láctico, mas este é um equívoco popular, já que a principal fonte de H^+ é claramente a partir da hidrólise de ATP (ENGLAND et al., 2013b; FERGUSON; GERRARD, 2014; MATARNEH et al., 2017).

A taxa e a extensão do metabolismo *post-mortem* influenciam significativamente o desenvolvimento de atributos de qualidade da carne. Fatores como condições ambientais e manipulação pre e post abate podem alterar significativamente o declínio do pH *post-mortem* (FERGUSON; GERRARD, 2014; MATARNEH et al., 2017). A taxa de glicólise *post-mortem* pode influenciar profundamente dois mecanismos principais, o qual afeta principalmente a maciez. O mecanismo mais notável é o grau de contração miofibrilar e a taxa e extensão da proteólise durante a maturação (FERGUSON et al., 2000; KOOHMARAIE; GEESINK, 2006). Além disso, a combinação de uma rápida taxa de glicólise e altas temperaturas no *post-mortem*, pode comprometer a integridade das proteínas musculares, e conseqüentemente afeta características de qualidade de carne como a cor, suculência e maciez (FERGUSON; GERRARD, 2014).

Declino do pH post-mortem

Bendall (1973) afirma que o declínio do pH no *post-mortem* é bifásico, caracterizado por um período inicial de mudança mínima no pH e no ATP, seguido de uma fase de declínio rápido em ambos. O período inicial é denominado "fase de atraso" e a conservação de ATP é atribuída à re-síntese de ATP de PCr e ADP, essa reação consome um próton e, portanto, pode diminuir o declínio do pH muscular. As concentrações de repouso de PCr variam dependendo da espécie, mas um intervalo de 18-23 mmol / g (BENDALL, 1973). Estimativas mais recentes sugerem que a concentração no abate pode ser muito menor em carne bovina (1-2 mmol / g), porém esta fase dura pouco tempo, por ter poucas reservas de PCr e ADP no

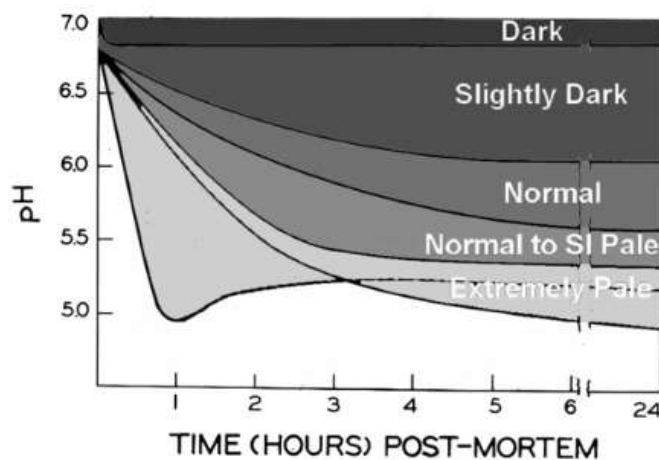
músculo no momento do post abate, resultado possivelmente de um estresse pre abate. Assim quando terminado o suprimento de PCr, é ativada rapidamente a glicólises anaeróbia (FERGUSON; GERRARD, 2014; MATARNEH et al., 2017).

Durante a fase rápida, a concentração de ATP diminui acentuadamente durante o rigor. Outra característica bioquímica chave da fase rápida é o aumento da concentração intracelular de cálcio (HOPKINS; THOMPSON, 2001). O aumento do cálcio livre dentro do citossol durante e após o rigor tem sido atribuído especificamente à função do reticulo sarcoplasmático alterado, vazamento de cálcio, redução da atividade das bombas de cálcio devido à depleção de ATP e, finalmente, através da ruptura das estruturas da membrana (FERGUSON; GERRARD, 2014). A duração e a taxa da glicólise dependem da temperatura (BENDALL, 1973; FERGUSON; WARNER, 2008)

No entanto, também é importante reconhecer que as variações na taxa glicolítica podem ser observadas, mesmo a temperaturas constantes (BENDALL, 1973). No contexto da ternura da carne e outras características de qualidade da carne (por exemplo, cor, capacidade de retenção de água), a interação entre a glicólise *post-mortem* e a temperatura no músculo é primordial (SCHEFFLER; GERRARD, 2007).

O pH final da carne, bem como o declino do pH ao longo do *post-mortem* influenciam as características visuais bem como nas características sensoriais da carne. O pH do músculo é aproximadamente de 7.2 no início do *post-mortem*, quando o músculo tem suficiente reserva de glicogênio (55 $\mu\text{mol/g}$ no momento do abate; TARRANT, 1989; IMMONEN et al., 2000), combinada com uma queda normal de temperatura, além de não ter algum outro fator que mude a glicólises, esta irá acontecer de maneira normal e desejada, resultando em um pH final próximo de 5.6, o qual é considerado normal (figura 9.; SCHEFFLER; GERRARD, 2007).

Figura 9. Diferentes quedas de curva de pH no metabolismo *post-mortem*



Fonte: Scheffler, T. L.; Gerrard, D. E. (2007).

Quando a queda do pH não acontece normalmente, podemos encontrar diferentes valores de pH final além de apresentar diferentes características de carne quando comparado com as desejáveis. Em animais bovinos a principal e mais importante anomalia são as carnes DFD (escura, firme e seca), o qual está principalmente atribuído na falta de glicogênio no momento do abate. Consequentemente, a glicólise não tem substrato para acontecer normalmente e resulta em um pH final elevado (SCHEFFLER; GERRARD, 2007; MATARNEH et al., 2017). O valor limiar entre carnes normais e carnes DFD é inconsistente, alguns autores consideram carnes DFD com um pH maior de 5.8 (PAGE; WULF; SCHWOTZER, 2001; MILLER, 2007) outros consideram maior a 6.0 (TARRANT, 1989) ou 6.2 ((PURCHAS, 1990; PURCHAS; AUNGSUPAKORN, 1993). Atualmente está sendo considerado diferentes graus de DFD, pois dependendo da faixa de pH e o grau de DFD podem apresentar mudanças nos diferentes mecanismos que acontecem no *post-mortem* e maturação da carne, resultando em diferentes características de qualidade de carne (LOMIWES et al., 2014; WU et al., 2014; GRAYSON et al., 2016).

Por outro lado, também pode se encontrar outra anomalia do pH final da carne, conhecida como PSE (pálida, mole e exsudativa) a qual acontece principalmente em suínos. No qual uma queda rápida do pH em combinação com uma temperatura elevada da carcaça nas primeiras horas, resulta num pH final entre 5.3 e 5.5, apresentando características de carne indesejáveis. Esta anomalia é pouco comum em animais bovinos (SCHEFFLER; GERRARD, 2007; MATARNEH et al., 2017).

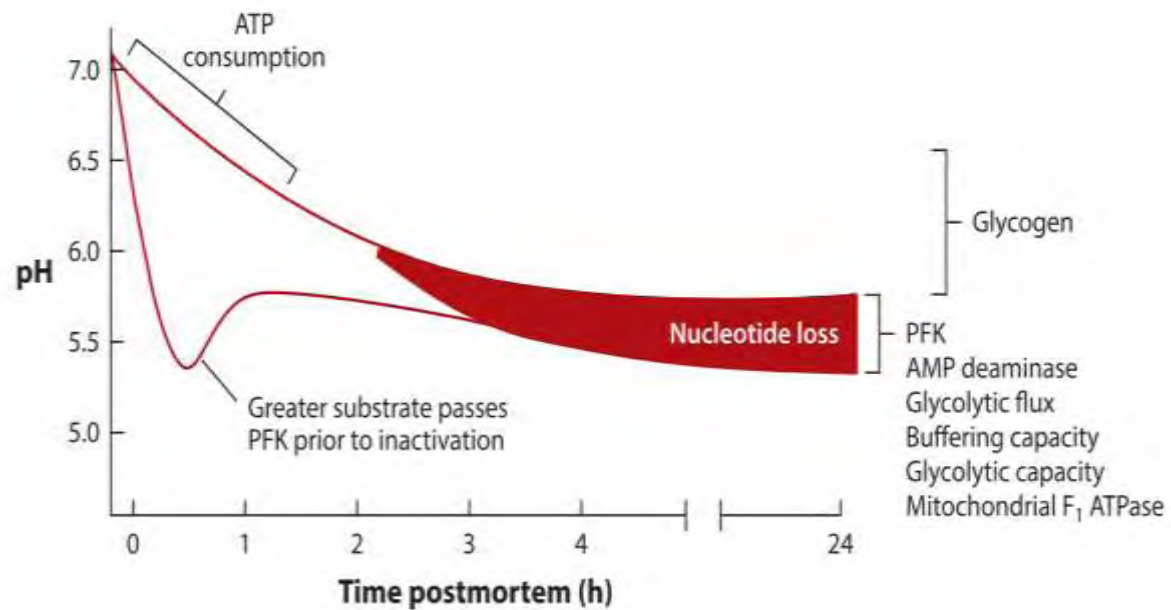
Fatores que controlam a queda e extensão do metabolismo post-mortem

A taxa de queda do pH pode ser influenciada por diferentes fatores, entre eles a espécie, genética, tipo de fibra muscular e condições ante e *post-mortem*. Entretanto, nenhum fator é suficiente para predizer mais do 50% da variação do pH final (VAN LAACK; KAUFFMAN; GREASER, 2001).

A mobilização do glicogênio durante o metabolismo *post-mortem* conduz o declínio do pH. Espera-se que a extensão do metabolismo *post-mortem* seja uma função do conteúdo do glicogênio muscular no momento do abate (MATARNEH et al., 2017). Quando se tem uma reserva de glicogênio muscular no momento de abate esperasse que o pH final esteja dentro do normal. Entretanto, o glicogênio não é o único fator que controla a taxa de declínio de pH (ENGLAND et al., 2013b; MATARNEH et al., 2017). Segundo Scopes (1974), a taxa de hidrólise de ATP por ATPases musculares impulsiona a taxa de metabolismo *post-mortem*. Além disso, a taxa de hidrólise de ATP aumenta drasticamente à medida que o Ca^{2+} citosólico aumenta. Sob alta concentração de Ca^{2+} a atividade da ATPase miofibrilar pode aumentar até dez vezes (BOWKER et al., 2004).

Segundo England (2013b), sugeriram que o PFK-1 pode funcionar como um "portão" de substrato. Essencialmente, o glicogênio pode ser convertido em lactato e H, desde que PFK-1 mantenha a atividade. À medida que o pH diminui, a capacidade desse processo para ocorrer torna-se limitante e a glicólise *post-mortem*, eventualmente, é interrompida. A atividade da AMPD pode influenciar os dois mecanismos responsáveis pelo término *post-mortem*. A menor atividade de AMPD aumenta a concentração de AMP, o que, por sua vez, ativa as enzimas limitantes de taxa de glicogenólise e glicólise.

Figura 10. Fatores que controlam a queda do pH no metabolismo *post-mortem*



Fonte: Matarneh, S. K.; Silva, S. L.; Gerrard, D. E. (2020).

Outro fator que controlar a queda do pH é a capacidade buffer do músculo, este fator pode minimizar ou neutralizar o acúmulo de H⁺. Normalmente, a capacidade de buffer é maior nos músculos brancos do que os dos músculos vermelhos. Segundo Van Laack et al. (2001) sugeriram que a capacidade de armazenamento pode explicar diferenças no pH final entre os músculos com níveis de lactato similares. Embora as diferenças na capacidade de armazenamento em buffer possam ajudar a explicar a extensão do declínio do pH, a capacidade tampão não parece ser um determinante importante do pH final (PUOLANNE; KIVIKARI, 2000).

Além disso, o fluxo e capacidade glicolítica do músculo afeta a queda do pH, podendo explicar algumas diferenças no pH final. Isto depende do tipo de fibra presente no músculo. Em adição, recentemente a mitocôndria embora seja organela que trabalha no metabolismo oxidativo e respiração celular, tem um efeito no metabolismo *post-mortem* (MATARNEH et al., 2017).

Mitocôndria

A cessação do oxigênio para o músculo após a sangria impede a capacidade das mitocôndrias de produzir ATP através de fosforilação oxidativa. Portanto, as mitocôndrias são muitas vezes consideradas irrelevantes para o processo de conversão de músculo em carne (MATARNEH et al., 2017). No entanto, as mitocôndrias não "morrem" imediatamente após a morte, elas conseguem manter a funcionalidade e a integridade estrutural por várias horas (TANG et al., 2005). Portanto, as mitocôndrias podem influenciar o metabolismo *post-mortem* alterando as propriedades bioquímicas e energéticas do músculo. Além disso, as mitocôndrias estão envolvidas na homeostase do Ca celular, no apoptose (morte celular programada) e na estabilidade da cor da carne (MATARNEH et al., 2017).

Recentemente, Hudson (2012) sugeriu que a mitocôndria pode fazer um processo chamado "traição celular" no desenvolvimento de músculo em carne. A hidrólise de ATP pela ATPase F₁F₀ influenciaria diretamente o consumo de ATP celular e poderia continuar a promover a glicose e o declínio do pH *post-mortem*. Por sua vez, espera-se que a taxa de consumo de ATP seja positivamente correlacionada com o conteúdo mitocondrial.

Ferguson et al. (2008) afirmaram que a taxa de queda do pH em músculos compostos predominantemente por fibras oxidativas do tipo I (ricas em mitocôndrias) é geralmente mais rápida do que em músculos compostos por fibras glicolíticas do tipo IIB (pobres em mitocôndrias). De acordo com os mesmos autores, os músculos *Longissimus thoracis e lumborum* apresentaram maiores médias de taxa de declínio do pH (0,4 unidades por hora) enquanto o músculo *Semitendinosus* apresentou a menor taxa de queda do pH (~ 0,25 unidades por hora) em merinos castrados. Portanto, a hidrólise de ATP pela ATPase da F₁F₀ pode explicar parcialmente a observação de que músculos vermelhos e oxidativos, algumas vezes, exibem taxas mais rápidas de quedas do pH do que músculos brancos e glicolíticos (HUDSON, 2012).

Embora o declínio do pH e o consumo de ATP possam estar relacionados diretamente com o conteúdo mitocondrial, o relacionamento provavelmente é mais complicado. Especificamente, as propriedades das mitocôndrias podem variar não apenas pelo tipo de fibra, mas pela sua localização dentro da célula muscular. Convencionalmente, as diferenças

energéticas entre músculos vermelhos e brancos são atribuídas principalmente a maior densidade mitocondrial de fibras lentas (SCHWERZMANN et al., 1989).

1.4. Efeitos do sistema de terminação, taxa de crescimento e critério de abate sobre as características de produção e qualidade de carne

Desempenho e características de carcaça

Segundo Therkildsen et al. (1998), bovinos terminados em sistema de produção intensivo apresentam taxa de ganho de peso diário elevada e são abatidos precocemente quando comparados aos animais do sistema de pastagem extensivo, independentemente do peso de abate. Além disso, Sami et al. (2004) também compararam sistemas de terminação intensivo e extensivo em dois idades de abate diferente, e concluíram que o tipo de sistema de terminação adotado na propriedade promove efeito mais pronunciado no desempenho e nas características de carcaça e da carne dos animais, quando comparado com o tempo de alimentação. Por outro lado, McIntyre et al. (2009) comparou duas taxas de crescimento em animais confinados e observaram que animais com maiores taxas de ganho de peso em confinamento apresentaram maior deposição de gordura subcutânea e intramuscular quando comparado com animais de baixa taxa de ganho de peso diário.

Em adição, Frylinck et al. (2013) reportaram que animais terminados a pasto apresentar menor peso de carcaça quando comparado com animais em confinamento, como resultado de um baixo ganho dentro do sistema de pasto combinado com um curto tempo de alimentação, por outro lado, animais alimentados no sistema a pasto podem apresentar um similar peso de carcaça que animais terminados em confinamento, porém com um maior tempo de alimentação. Portanto, o sistema de terminação, dieta utilizada, a taxa de ganho de peso diário e o critério de abate no período de terminação tem um efeito significativo na curva de crescimento e composição de ganho do animal, o qual influencia diretamente as características de carcaça, incluindo a quantidade de gordura e a qualidade da carne dos bovinos.

Metabolismo post-mortem

A qualidade da carne é significativamente determinada pela extensão da queda do pH muscular no *post-mortem*. Como mencionado anteriormente, carnes com pH final entre 5,6 e 5,8 apresentam características de qualidade mais desejáveis, enquanto cortes com pH final $\geq 5,8$ ou 6.0 são geralmente considerados como carne DFD, dependendo do país (VILJOEN; DE KOCK; WEBB, 2002; APAOBLAZA et al., 2015; PONNAMPALAM et al., 2017). O desenvolvimento deste fenômeno está atribuído a falhas no declínio do pH por insuficiente glicogênio muscular no momento do abate, principalmente relacionado a depreciação deste substrato causado por algum estresse pré-abate (TARRANT, 1989; PONNAMPALAM et al., 2017). De acordo com a revisão de Ferguson & Gerrard (2014), o valor limiar do glicogênio muscular no momento do abate deve estar entre 45-55 $\mu\text{mol/g}$ para poder atingir um pH final normal.

Carnes DFD são uma preocupação significativa para a indústria de carne bovina devido à dificuldade de venda no varejo e à curta vida útil de prateleira (WICKS et al., 2019). Em geral, animais terminados em sistema a pasto são mais susceptíveis a apresentar carnes DFD comparado com animais terminados em confinamento (NUERNBERG et al., 2005; FRYLINCK et al., 2013). Curiosamente, vários estudos têm reportado maior pH final da carne em animais terminados à pasto quando comparado com animais alimentados com dietas de alto grão em confinamento, não observando diferenças na concentração de glicogênio muscular em ambos os sistemas (VESTERGAARD; OKSBJERG; HENCKEL, 2000; FRYLINCK et al., 2013).

Machos não-castrados alimentados em sistema extensivo possuem relativamente mais fibras musculares oxidativas, maior potencial metabólico oxidativo e carne mais escuras quando comparado com animais em confinamento (VESTERGAARD; OKSBJERG; HENCKEL, 2000). De acordo com os mesmos autores, essa maior frequência de fibras musculares oxidativas em animais do sistema extensivo está acompanhada de maior atividade das enzimas citrato sintase (CS) e 3-hidroxiacil-CoA desidrogenase (HAD), e menor atividade da lactato desidrogenase.

Além disso, o conteúdo e a taxa de oxidação da mioglobina (Mb) são específicos de cada músculo e um aumento na proporção de fibras do tipo I aumenta a concentração de Mb da carne e, conseqüentemente, a intensidade de vermelho, bem como, a estabilidade da cor

(RENERRE, 1990; KIM et al., 2010). Consequentemente, animais do sistema de pastagem podem ter maior frequência de fibras oxidativas, maior quantidade de mitocôndrias e mioglobina (Mb), resultando em uma declino de pH mais rápido e cor de carne diferente, quando comparado com animais do sistema em confinamento que possuem maior frequência de fibras glicolíticas (Tipo IIB, pobres em mitocôndrias) (FERGUSON; WARNER, 2008).

Cor e maciez da carne

Mudanças no metabolismo muscular e no metabolismo *post-mortem* causadas por diferentes sistemas de terminação, por diferenças entre taxa de ganho de peso e pelo critério de abate influenciam características de qualidade da carne, tal como a cor e a maciez (JOO et al., 2013). Animais em sistema de confinamento apresentam maiores valores de cor (especialmente de L* e b*) quando comparados com animais em sistema de pastagem (ALLINGHAM; HARPER; HUNTER, 1998; VESTERGAARD; OKSBJERG; HENCKEL, 2000; NUERNBERG et al., 2005). Na revisão de literatura realizada por Dunne et al. (2011), tais autores observaram que na maioria dos trabalhos que comparam ambos os sistemas de produção, a carne de animais terminados a pasto foi mais escura quando comparado com animais terminados em confinamento.

Além da cor, o metabolismo *post-mortem* também influencia a maciez da carne bovina, uma vez que músculos com maior área de fibra, especialmente do tipo IIB, apresentam carne mais dura do que músculos de menor tamanho de fibra (RENAND et al., 2001). Hwang et al. (2010) também relataram melhoria da maciez da carne por meio do aumento da percentagem de fibras do tipo I e diminuição da percentagem de fibra do tipo IIX no músculo bovino.

Apesar de não terem encontrado diferença na força de cisalhamento do músculo *Longissimus* entre os sistemas de terminação, Vestergaard et al. (2000) encontraram maiores notas de maciez sensorial da carne de bovinos terminados em sistema intensivo quando comparado com animais terminados em sistema extensivo. Por outro lado, Blank et al. (2017) reportaram que bovinos alimentados com dietas mais fibrosas apresentaram maior variação na extensão da degradação da proteína, o que levou a maiores valores de força de cisalhamento, sugerindo que o nível de inclusão de fibra na dieta possa afetar a maciez da

carne. Entretanto, outros estudos realizados em bovinos comparando ambos os sistemas de terminação não encontraram diferença na maciez da carne (ALLINGHAM; HARPER; HUNTER, 1998; SAMI; AUGUSTINI; SCHWARZ, 2004; NIAN et al., 2017). Por outro lado, Nuernberg et al., (2005) e Frylinck et al., (2013) concluíram que animais terminados em confinamento tiveram carne mais macia do que animais terminados a pasto, sendo usado como critério de abate idade e peso fixo, respectivamente.

1.5. Referências

- AIELLO, E. S.; MOSES, A. M. **The Merck Veterinary**. 11th Editi ed. Rahway, NJ: Merck Publishing Group, 2016.
- ALLINGHAM, P. G.; HARPER, G. S.; HUNTER, R. a. Effect of growth path on the tenderness of the semitendinosus muscle of Brahman-cross steers. **Meat Science**, v. 48, n. 1–2, p. 65–73, 1998.
- AMERICAN MEAT SCIENCE ASSOCIATION. **Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation and Instrumental Tenderness Measurements of Fresh Meat**. Second Edi ed., 2012
- APAOLAZA, A.; GALAZ, A.; STROBEL, P.; RAMÍREZ-REVECO, A.; JERÉZ-TIMAURE, N.; GALLO, C. Glycolytic potential and activity of adenosine monophosphate kinase (AMPK), glycogen phosphorylase (GP) and glycogen debranching enzyme (GDE) in steer carcasses with normal (<5.8) or high (>5.9) 24h pH determined in *M. longissimus dorsi*. **Meat science**, v. 101, p. 83–9, mar. 2015.
- BARTOŇ, L.; MAROUNEK, M.; KUDRNA, V.; BUREŠ, D.; ZAHRÁDKOVÁ, R. Growth performance and fatty acid profiles of intramuscular and subcutaneous fat from Limousin and Charolais heifers fed extruded linseed. **Meat Science**, v. 76, n. 3, p. 517–523, 2007.
- BENDALL, J. Postmortem changes in muscle. In: BOURNE, G. (Ed.). **Structure and Function of Muscle**, vol. 2. New York: Acad. Press, 1973. p. 234–309.
- BLANK, C. P.; RUSSELL, J.; LONERGAN, S. M.; HANSEN, S. L. Influence of feed efficiency classification and growing and finishing diet type on meat tenderness attributes of beef steers. **Journal of Animal Science**, v. 95, n. 7, p. 2986–2992, 2017.
- BLIGH AND DYER. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, v. 37, n. 8, p. 911–917, 1959.
- BONNET, M.; CASSAR-MALEK, I.; CHILLIARD, Y.; PICARD, B. Ontogenesis of muscle and adipose tissues and their interactions in ruminants and other species. **Animal**, v. 4, n. 7, p. 1093–1109, 2010.
- BOWKER, B. C.; GRANT, A. L.; SWARTZ, D. R.; GERRARD, D. E. Myosin heavy chain isoforms influence myofibrillar ATPase activity under simulated postmortem pH, calcium, and temperature conditions. **Meat Science**, v. 67, n. 1, p. 139–147, 2004.
- BROOKE AND KAISER. Muscle fiber type: how many and what kind? **Archives of Neurology**, v. 23, p. 369, 1970.
- CONLEY, K. E. K. E.; KEMPER, W. F. W. F.; CROWTHER, G. J. G. J. Limits to sustainable muscle performance: interaction between glycolysis and oxidative phosphorylation. **Journal of Experimental Biology**, v. 204, n. Pt 18, p. 3189–3194, 2001.
- CROSS, H. R.; WEST, R. L.; DUTSON, T. R. Comparison of methods for measuring sarcomere length in beef semitendinosus muscle. **Meat Science**, v. 5, n. 4, p. 261–6, jul. 1981.
- DALEY, C. a; ABBOTT, A.; DOYLE, P. S.; NADER, G. a; LARSON, S. A review of fatty acid profiles and antioxidant content in grass-fed and grain-fed beef. **Nutrition journal**, v. 9, p. 10, 2010.

DAVID L. NELSON E MICHEL M, C. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. 4ª edição ed. 2000

DU, M.; HUANG, Y.; DAS, A. Manipulating mesenchymal progenitor cell differentiation to optimize performance and carcass value of beef cattle. **Journal of Animal ...**, n. 1, p. 1419–1427, 2012.

DU, M.; TONG, J.; ZHAO, J.; UNDERWOOD, K. R.; ZHU, M.; FORD, S. P.; NATHANIELSZ, P. W. Fetal programming of skeletal muscle development in ruminant animals. **Journal of animal science**, v. 88, n. 13 Suppl, 2010.

DU, M.; WANG, B.; FU, X.; YANG, Q.; ZHU, M. J. Fetal programming in meat production. **Meat Science**, v. 109, p. 40–47, 2015.

DUNNE, P. G.; MONAHAN, F. J.; MOLONEY, A. P. Current perspectives on the darker beef often reported from extensively-managed cattle: Does physical activity play a significant role? **Livestock Science**, v. 142, n. 1–3, p. 1–22, 2011.

ENGLAND, E. M.; SCHEFFLER, T. L.; KASTEN, S. C.; MATARNEH, S. K.; GERRARD, D. E. Exploring the unknowns involved in the transformation of muscle to meat. **Meat Science**, v. 95, n. 4, p. 837–843, 2013.

FERGUSON, D. M.; GERRARD, D. E. Regulation of post-mortem glycolysis in ruminant muscle. **Animal Production Science**, v. 54, n. 4, p. 464–481, 2014.

FERGUSON, D. M.; JIANG, S. T.; HEARNshaw, H.; RYMILL, S. R.; THOMPSON, J. M. Effect of electrical stimulation on protease activity and tenderness of M. longissimus from cattle with different proportions of Bos indicus content. **Meat Science**, v. 55, n. 3, p. 265–272, 2000.

FERGUSON, D. M.; WARNER, R. D. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? **Meat Science**, v. 80, n. 1, p. 12–19, set. 2008.

FOLCH, J.; LEES, M.; G, S. A SIMPLE METHOD FOR THE ISOLATION AND PURIFICATION OF TOTAL LIPIDES FROM ANIMAL TISSUES. **J. Biol .Chem.**, v. 226, p. 497–509, 1957.

FRYLINCK, L.; STRYDOM, P. E.; WEBB, E. C.; DU TOIT, E. Effect of South African beef production systems on post-mortem muscle energy status and meat quality. **Meat Science**, v. 93, n. 4, p. 827–837, 2013. GERRARD, D. E.; GRANT, A. L. **Principles of animal growth and development**. 2007

GAGAOUA, M. et al. Proteomic biomarkers of beef colour. **Trends in Food Science and Technology**, v. 101, n. May, p. 234–252, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.005>>

GILBERT, C. D.; LUNT, D. K.; MILLER, R. K.; SMITH, S. B. Carcass, sensory, and adipose tissue traits of Brangus steers fed casein-formaldehyde-protected starch and/or canola lipid. **Journal of Animal Science**, v. 81, n. 10, p. 2457–2468, 2003.

GRAYSON, A. L.; SHACKELFORD, S. D.; MCKEITH, R. O.; KING, D. A.; MILLER, R. K.; WHEELER, T. L. Effect of degree of dark cutting on tenderness and flavor attributes of beef. **Meat Science**, v. 96, n. 1, p. 466, 2016

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

HOCQUETTE, J.-F.; GRAULET, B.; OLIVECRONA, T. Lipoprotein lipase activity and mRNA levels in bovine tissues. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 121, n. 2, p. 201–212, 1998.

HOCQUETTE, J. F.; CASSAR-MALEK, I.; SCALBERT, A.; GUILLOU, F. Contribution of Genomics to the Understanding of Physiological Functions. **Journal of physiology and pharmacology : an official journal of the Polish Physiological Society**, v. 60 Suppl 3, p. 5–16, out. 2009.

HOPKINS, D. L.; THOMPSON, J. M. The relationship between tenderness, proteolysis, muscle contraction and dissociation of actomyosin. **Meat Science**, v. 57, n. 1, p. 1–12, 2001.

HUDSON, N. J. Mitochondrial treason: A driver of pH decline rate in post-mortem muscle? **Animal Production Science**, v. 52, n. 12, p. 1107–1110, 2012.

HWANG, Y. H.; KIM, G. D.; JEONG, J. Y.; HUR, S. J.; JOO, S. T. The relationship between muscle fiber characteristics and meat quality traits of highly marbled Hanwoo (Korean native cattle) steers. **Meat Science**, v. 86, n. 2, p. 456–461, 2010.

IMMONEN, K.; RUUSUNEN, M.; HISSA, K.; PUOLANNE, E. Bovine muscle glycogen concentration in relation to finishing diet, slaughter and ultimate pH. **Meat Science**, v. 55, n. 1, p. 25–31, 2000.

JOE, A. W. B.; YI, L.; NATARAJAN, A.; LE GRAND, F.; SO, L.; WANG, J.; RUDNICKI, M. A.; ROSSI, F. M. V. Muscle injury activates resident fibro/adipogenic progenitors that facilitate myogenesis. **Nature Cell Biology**, v. 12, n. 2, p. 153–163, 2010.

JOO, S. T.; KIM, G. D.; HWANG, Y. H.; RYU, Y. C. Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics. **Meat Science**, v. 95, n. 4, p. 828–836, 2013.

KARISA, B. K.; THOMSON, J.; WANG, Z.; LI, C.; MONTANHOLI, Y. R.; MILLER, S. P.; MOORE, S. S.; PLASTOW, G. S. Plasma metabolites associated with residual feed intake and other productivity performance traits in beef cattle. **Livestock Science**, v. 165, n. 1, p. 200–211, 2014.

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

KOOHMARAIE, M.; GEESINK, G. H. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. **Meat Science**, v. 74, n. 1, p. 34–43, 2006.

KOOHMARAIE, M.; KENT, M. P.; SHACKELFORD, S. D.; VEISETH, E.; WHEELER, T. L. Meat tenderness and muscle growth: is there any relationship? **Meat Science**, v. 62, n. 3, p. 345–352, 2002.

KRAMER, J. K. G.; FELLNER, V.; DUGAN, M. E. R.; SAUER, F. D.; MOSSOBA, M. M.; YURAWECZ, M. P. Evaluating acid and base catalysts in the methylation of milk and rumen fatty acids with special emphasis on conjugated dienes and total trans fatty acids. **Lipids**, v. 32, n. 11, p. 1219–1228, 1997.

KUANG, S.; KURODA, K.; LE GRAND, F.; RUDNICKI, M. A. Asymmetric Self-Renewal and Commitment of Satellite Stem Cells in Muscle. **Cell**, v. 129, n. 5, p. 999–1010, 2007.

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

LAWRIE, R. a.; LEAWARD, D. Meat and human nutrition. In: **Lawrie's Meat Science**. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, 2006. p. 342–357.

LAWRIE, R. a.; LEDWARD, D. The eating quality of meat. In: **Lawrie's Meat Science**. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, 2006. p. 279–341.

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

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

LODISH, H., BEDRK, A., ZIPURSKY, S.L., et al. The molecular mechanism of muscle contraction. In: **Molecular Cell Biology**. fourth edi ed. [s.l: s.n.]

LOMIWES, D.; FAROUK, M. M.; WU, G.; YOUNG, O. A. The development of meat tenderness is likely to be compartmentalised by ultimate pH. **Meat science**, v. 96, n. 1, p. 646–51, jan. 2014.

MATARNEH, S. K.; ENGLAND, E. M.; SCHEFFLER, T. L.; GERRARD, D. E. The conversion of muscle to meat. In: **Lawrie's Meat Science**. Eighth edi ed. 159–185. 2017.

MATARNEH, S. K.; BELINE, M.; LUZ, S. De; SHI, H.; GERRARD, D. E. Mitochondrial F 1 - ATPase extends glycolysis and pH decline in an in vitro model. v. 137, n. July 2017, p. 85–91, 2018.

MCGEE, M.; KEANE, M. G.; NEILAN, R.; MOLONEY, A. P.; CAFFREY, P. J. Body and carcass measurements, carcass conformation and tissue distribution of high dairy genetic merit Holstein, standard dairy genetic merit Friesian and Charolais x Holstein-Friesian male cattle. **Irish Journal of Agricultural and Food Research**, v. 46, n. 2, p. 129–147, 2007.

MCINTYRE, B. L.; TUDOR, G. D.; READ, D.; SMART, W.; DELLA BOSCA, T. J.; SPEIJERS, E. J.; ORCHARD, B. Effects of growth path, sire type, calving time and sex on growth and carcass characteristics of beef cattle in the agricultural area of Western Australia. **Animal Production Science**, v. 49, n. 6, p. 504–514, 2009.

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

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

NIAN, Y.; KERRY, J. P.; PRENDIVILLE, R.; ALLEN, P. The eating quality of beef from young dairy bulls derived from two breed types at three ages from two different production systems. **Irish Journal of Agricultural and Food Research**, v. 56, n. 1, p. 31–44, 2017.

NUERNBERG, K.; DANNENBERGER, D.; NUERNBERG, G.; ENDER, K.; VOIGT, J. Effect of a grass-based and a concentrate feeding system on meat quality characteristics and fatty acid composition of longissimus muscle in different cattle breeds. **Livestock Production Science**, v. 94, p. 137–147, 2005.

OLIVEIRA, C. A.; MILLEN, D. D. Survey of the nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists in Brazil. **Animal Feed Science and Technology**, v. 197, p. 64–75, nov. 2014.

OUALI, A.; HERRERA-MENDEZ, C. H.; COULIS, G.; BECILA, S.; BOUDJELLAL, A.; AUBRY, L.; SENTANDREU, M. A. Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. **Meat Science**, v. 74, n. 1, p. 44–58, 2006.

OWENS, F. N.; DUBESKI, P.; HANSONT, C. F. Factors that Alter the Growth and Development of Ruminants If2 ABSTRACT : **Journal of Animal Science**, v. 71, n. 11, p. 3138–3150, 1993.

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

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

PETER, J. B.; BARNARD, R. J.; EDGERTON, V. R.; GILLESPIE, C. A.; STEMPEL, K. E. Metabolic Profiles of three types of fibers of skeletal muscles in guinea pig and rabbits. **Biochemistry**, v. 11, n. 14, p. 2627–2633, 1972.

PUOLANNE, E.; KIVIKARI, R. Determination of the buffering capacity of postrigor meat. **Meat Science**, v. 56, n. 1, p. 7–13, 2000.

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

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

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

REALINI, C. E.; DUCKETT, S. K.; BRITO, G. W.; DALLA RIZZA, M.; DE MATTOS, D. Effect of pasture vs. concentrate feeding with or without antioxidants on carcass characteristics, fatty acid composition, and quality of Uruguayan beef. **Meat Science**, v. 66, n. 3, p. 567–577, 2004.

RENAND, G.; PICARD, B.; TOURAILLE, C.; BERGE, P.; LEPETIT, J. Relationships between muscle characteristics and meat quality traits of young Charolais bulls. **Meat Science**, v. 59, n. 1, p. 49–60, 2001.

RENERRE, M. Review: Factors involved in the discolouration of beef. **International journal of food science and technology**, v. 25, p. 613–630, 1990.

RUSSELL, R. G.; OTERUELO, F. T. An Ultrastructural Study of the Differentiation of Skeletal Muscle in the Bovine Fetus. **Anatomy and embryology**, v. 162, n. 4, p. 403–417, 1981.

SAMI, A. S.; AUGUSTINI, C.; SCHWARZ, F. J. Effects of feeding intensity and time on feed on performance, carcass characteristics and meat quality of Simmental bulls. **Meat Science**, v. 67, n. 2, p. 195–201, 2004.

SCHEFFLER, T. L.; GERRARD, D. E. Mechanisms controlling pork quality development: The biochemistry controlling postmortem energy metabolism. **Meat Science**, v. 77, n. 1 SPEC. ISS., p. 7–16, 2007.

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

SCHIAFFINO, S.; REGGIANI, C. Fiber Types in Mammalian Skeletal Muscles. **Physiological Reviews**, v. 91, n. 4, p. 1447–1531, 2011. Disponível em: <<http://physrev.physiology.org/cgi/doi/10.1152/physrev.00031.2010>>.

SCHOONMAKER, J. P. Effects of Lifetime Nutrition on Beef Quality. In: Proceedings of the III International Symposium of Beef Cattle, Saskatoon, SK, Canada. **Anais...** Saskatoon, SK, Canada: 2012.

SCOPES, R. K. Studies with a reconstituted muscle glycolytic system. The rate and extent of glycolysis in simulated post-mortem conditions. **The Biochemical journal**, v. 142, n. 1, p. 79–86, 1974.

SMITH, S. B.; CROUSE, J. D. Relative Contributions of Acetate, Lactate and Glucose to Lipogenesis in Bovine Intramuscular and Subcutaneous Adipose Tissue. **The Journal of nutrition**, v. 114, n. 4, p. 792–800, abr. 1984.

SORENSEN GITTE; JORGENSEN SOREN STORGAARD. A critical examination of some experimental variables in the 2-thiobarbituric acid (TBA) test for lipid oxidation in meat products. **Z Lebensm Unters Forsch**, v. 202, n. 3, p. 205–210, 1996.

TANG, J.; FAUSTMAN, C.; HOAGLAND, T. A.; MANCINI, R. A.; SEYFERT, M.; HUNT, M. C. Postmortem oxygen consumption by mitochondria and its effects on myoglobin form and stability. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 4, p. 1223–1230, 2005.

TARRANT, P. Animal Behaviour and Environment in the Dark-Cutting Condition in Beef - A Review. **Irish Journal of Food Science and Technology**, v. 13, n. 1, p. 1–21, 1989.

THERKILDSEN, M.; VESTERGAARD, M.; JENSEN, LISE RAMSGAARD, HENNING REFSGAARD ANDERSEN, K. S. Effect of Feeding Level , Grazing and Finishing on Growth and Carcass Quality of Young Friesian Bulls. **Acta Agriculture Scandinavica**, v. 48, p. 193–201, 1998.

UEZUMI, A.; ITO, T.; MORIKAWA, D.; SHIMIZU, N.; YONEDA, T.; SEGAWA, M.; YAMAGUCHI, M.; OGAWA, R.; MATEV, M. M.; MIYAGOE-SUZUKI, Y.; TAKEDA, S.; TSUJIKAWA, K.; TSUCHIDA, K.; YAMAMOTO, H.; FUKADA, S. -i. Fibrosis and adipogenesis originate from a common mesenchymal progenitor in skeletal muscle. **Journal of Cell Science**, v. 124, n. 21, p. 3654–3664, 2011.

VAN LAACK, R.; KAUFFMAN, R.; GREASER, M. Determinants of ultimate pH of meat. In: 47th Int. Congr. Meat Sci. Techno, Krakow, Poland. **Anais...** Krakow, Poland.: 2001.

VATANSEVER, L.; KURT, E.; ENSER, M.; NUTE, G. R.; SCOLLAN, N. D.; WOOD, J. D.; RICHARDSON, R. I. Shelf life and eating quality of beef from cattle of different breeds given diets differing in n-3 polyunsaturated fatty acid composition. **Animal Science**, v. 71, n. January 2016, p. 471–482, 2000.

VESTERGAARD, M.; OKSBJERG, N.; HENCKEL, P. Influence of feeding intensity, grazing and finishing feeding on muscle fibre characteristics and meat colour of semitendinosus, longissimus dorsi and supraspinatus muscles of young bulls. **Meat Science**, v. 54, n. 2, p. 177–185, fev. 2000.

VESTERGAARD, M.; THERKILDSEN, M.; HENCKEL, P.; JENSEN, L. R.; ANDERSEN, H. R.; SEJRSEN, K. Influence of feeding intensity, grazing and finishing feeding on meat and eating quality of young bulls and the relationship between muscle fibre characteristics, fibre fragmentation and meat tenderness. **Meat Science**, v. 54, p. 187–195, 2000.

VILJOEN, H. .; DE KOCK, H. .; WEBB, E. . Consumer acceptability of dark, firm and dry (DFD) and normal pH beef steaks. **Meat Science**, v. 61, n. 2, p. 181–185, jun. 2002.

VYNCKE, W. Evaluation of the Direct Thiobarbituric Acid Extraction Method for Determining Oxidative Rancidity in Mackerel (*Scomber scombrus* L.). **Fette, Seifen, Anstrichmittel**, v. 77, n. 6, p. 239–240, 1975.

WANG, B.; YANG, Q.; HARRIS, C. L.; NELSON, M. L.; BUSBOOM, J. R.; ZHU, M.-J.; DU, M. Nutrigenomic regulation of adipose tissue development — role of retinoic acid: A review. **Meat Science**, v. 120, p. 100–106, 2016.

WANG, Y.; BEYDOUN, M. Meat consumption is associated with obesity and central obesity among US adults. **Int J Obes**, v. 33, n. 6, p. 621–628, 2009.

WARREN, C. M.; KRZESINSKI, P. R.; GREASER, M. L. Vertical agarose gel electrophoresis and electroblotting of high-molecular-weight proteins. **Electrophoresis**, v. 24, n. 11, p. 1695–1702, 2003.

WELJIE, A. M.; NEWTON, J.; MERCIER, P.; CARLSON, E.; SLUPSKY, C. M. Targeted profiling: quantitative analysis of 1H NMR metabolomics data. **Analytical chemistry**, v. 78, n. 13, p. 4430–4442, 2006.

WINDER, W. W.; THOMSON, D. M. Cellular Energy Sensing and Signaling by AMP-Activated Protein Kinase. **Cell biochemistry and biophysics**, v. 47, n. 3, p. 332–347, 2007.

WU, G.; FAROUK, M. M.; CLERENS, S.; ROSENVOLD, K. Effect of beef ultimate pH and large structural protein changes with aging on meat tenderness. **Meat science**, v. 98, n. 4, p. 637–45, dez. 2014.

2. Capítulo II. Desempenho, características de carcaça avaliadas por ultrassom e qualidade de carne

Este capítulo faz parte do artigo "Feeding strategies impact animal growth and beef color and tenderness", que foi publicado na revista Meat Science.

<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108599>

2.1. Introdução

Sistemas de produção de bovinos baseada em alimentação a pasto ou com forragens, formam a base para a produção de carne, principalmente no hemisfério sul. A utilização destes sistemas resultam na produção de animais mais velhos devido às taxas de crescimento geralmente mais lentas, gerando carcaças mais magras ao abate (DUNNE; MONAHAN; MOLONEY, 2011; FRYLINCK et al., 2013; NIAN et al., 2017). Por outro lado, a alta disponibilidade de nutrientes através de uso de grãos principalmente usado na alimentação dos sistemas mais intensivos, como o caso da maioria dos sistemas de confinamento, resulta em maiores taxas de crescimento, melhora na eficiência alimentar e maior deposição de gordura, produzindo carcaças de alta qualidade e de animais mais jovens (MUIR; DEAKER; BOWN, 1998; THERKILDSEN; VESTERGAARD; JENSEN, LISE RAMSGAARD, HENNING REFSGAARD ANDERSEN, 1998; WICKS et al., 2019).

Em todos os sistemas de terminação, a taxa de crescimento, a idade ao abate e o peso corporal afetam as características e o metabolismo energético do músculo. Essas particularidades do músculo podem influenciar o metabolismo pós-morte e, por último, a aceitação do produto final pelo consumidor (WICKS et al., 2019). Comumente, a carne bovina terminada em sistemas de confinamento (alimentados com grãos de cereais) apresenta maior macia e uma aparência de cor vermelha mais brilhante do que os bovinos terminados em sistemas extensivos (baseados em pastagem) (NUERNBERG et al., 2005; FRYLINCK et al., 2013). No entanto, o tipo de terminação (grãos versus forragem) e a taxa de crescimento são frequentemente confundidos, pois as dietas a base de pasto resultam em menores taxa de crescimento, enquanto as dietas baseadas em grãos de cereais usadas na maioria dos confinamentos geram uma taxa de crescimento mais rápida. Além disso, o tipo de sistema de terminação e a taxa de crescimento têm impactos pronunciados nas características da carcaça

e, subsequentemente, no desenvolvimento da qualidade da carne, o que também depende do critério de abate selecionado, uma vez que animais abatidos com base no peso, ou dias de alimentação ou grau de acabamento podem apresentar diferenças na deposição de carne magra ou tecido adiposo, o qual influencia a qualidade final do produto.

Vários estudos avaliaram a influência da estratégia de terminação nas características de carcaça e no desenvolvimento da qualidade da carne, porém estes apresentaram diferenças na taxa de crescimento (THERKILDTSEN; VESTERGAARD; JENSEN, LISE RAMSGAARD, HENNING REFSGAARD ANDERSEN, 1998; FRYLINCK et al., 2013; KOCH et al., 2019; APAOBLAZA et al., 2020), idade ao abate (THERKILDTSEN; VESTERGAARD; JENSEN, LISE RAMSGAARD, HENNING REFSGAARD ANDERSEN, 1998; NUERNBERG et al., 2005; KOCH et al., 2018; MANNI et al., 2018; APAOBLAZA et al., 2020), e peso final (NIAN et al., 2017; KOCH et al., 2019), o que pode gerar um confundimento, assim como sugerido por Manni et al. (2018). Dessa forma, o objetivo geral deste estudo foi entender qual é o efeito do sistema de alimentação, taxa de crescimento e critério de abate sobre as características de carcaça e qualidade de carne de animais terminados a pasto e em confinamento.

2.2. Material e métodos

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (IACUC #2648101217) da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo campus Pirassununga.

2.2.1. Animais e Delineamento

Setenta e dois machos castrados cruzados Angus x Nelore foram desmamados aos 8 meses de idade e castrados cirurgicamente aos 10 meses de idade. Aproximadamente 45 dias depois da castração, os animais (330 ± 30 kg de peso vivo [PV] e 12 ± 1 meses de idade) foram utilizados em um delineamento inteiramente casualizado com 4 tratamentos: 1) confinamento com alta taxa de crescimento (C-A; GMD estimado de 1.5 kg/d); 2) confinamento com baixa taxa de crescimento (C-B; GMD estimado de 0.9 kg/d); 3) pasto com alta taxa de crescimento

(P-A; GMD estimado de 0.9 kg/d) e 4) e pasto com baixa taxa de crescimento (P-B; GMD estimado de 0.6 kg/d), com 18 animais por tratamento. A metade dos animais de cada tratamento (n=36) foi selecionada para ser abatida ao atingir 530 ± 20 kg PV, independentemente do tempo de alimentação, enquanto a outra metade (n = 36) foi abatida ao completar 140 dias de alimentação, independente do PV.

2.2.2. Sistema de terminação a pasto

Os 36 animais terminados em pastagem foram alojados em 12 piquetes (3 animais/piquete; 6 piquetes/critério de abate) de 1.5 hectares de capim-marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), com água e suplementação mineral (Minerthal 80, Minerthal) à vontade. A taxa de crescimento do animal foi controlada por meio da taxa de lotação, principalmente durante a época de chuvas (outubro até abril). Além disso, animais selecionados para serem abatidos por peso (530 kg) receberam suplementação proteica-energética no meio da época seca do ano (entre julho e agosto), com o objetivo de manter a taxa de crescimento de forma constante durante o período de menor oferta e qualidade do pasto. Animais do tratamento P-A foram suplementados em 5 etapas por 45 dias [1) 0.3% PV; 2) 0.5% PV; 3) 1% PV; 4) 0.5% PV; e 5) 0.3% PV; 9 dias/etapa] iniciando a suplementação na segunda semana de julho, enquanto os do tratamento P-B foram suplementados em 3 etapas por 35 dias [1) 0.3% PV; 2) 0.5% PV; e 3) 0.3% PV; 10 dias/etapa com exceção da etapa 2 (15 dias)] iniciando a suplementação na terceira semana de julho. A composição dos suplementos de 0.3%, 0.5% e 1% do PV esta apresentada como o suplemento 1, 2 e 3, respectivamente, na Tabela 3.

Tabela 3. Ingredientes e composição química (com base na matéria seca) da dieta usada no confinamento, dos suplementos e do pasto utilizado.

Ingredientes, % MS	Dieta Confinamento¹	Sistema a Pasto²	Sistema a Pasto³	Suplemento 1*	Suplemento 2*	Suplemento 3*
Silagem de milho	20,3	-	-	-	-	-
Milho Grão Seco	71,3	-	-	49,5	74,8	76,3
Farelo de Soja 45%	4,6	-	-	40,0	20,0	20,0
Calcário calcítico	0,5	-	-	-	-	-
Cloreto de potássio	0,4	-	-	-	-	-
Ureia	1,4	-	-	3,0	1,5	1,5
Núcleo Mineral ⁴	1,5	-	-	2,5	1,3	0,8
Sal comum	-	-	-	5,0	2,5	1,5
NUTRIENTES⁵, %						
Matéria seca	62,7	24,3	38,4	98,0	98,5	98,2
Proteína Bruta	14,4	7,5	6,9	30,8	19,4	19,5
Matéria mineral	4,2	8,4	8,0	-	-	-
Fibra bruta,	25,6	26,8	28,2	-	-	-
Fibra em detergente neutro	20,9	64,8	70,0	11,2	11,8	11,9
Fibra em detergente ácido	-	36,6	39,9	5,3	4,4	4,5
Extrato etéreo	2,7	1,5	1,5	2,4	3,0	3,1
Extrato não nitrogenado	58,9	55,9	55,3	-	-	-
Nutrientes Digestíveis	79,0	-	-	66,7	71,6	72,7
Totais, % ⁶						

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

² Composição bromatológica de um pool de 4 amostras de pastejo simulado na época das águas.

³ Composição bromatológica de um pool de 4 amostras de pastejo simulado na época da seca.
*Composição bromatológica dos suplementos usados na época seca no sistema de terminação a pasto.

⁴Minerthal 160MD (Minerthal) cálcio, 208 g; cobalto, 148 mg; cobre 2664; enxofre, 64 g; flúor (Max), 1600 mg; fósforo, 160 g; iodo, 141 g; manganês, 2200mg; selênio, 37 mg; zinco, 7992 mg; monensina sódica, 4000 mg.

⁵As análises bromatológicas foram realizadas no laboratório de nutrição animal da FZEA-USP.

⁶Estimado por meio da fórmula de Weiss et al. (1992).

2.2.3. Sistema de terminação em confinamento

Trinta e seis animais terminados em confinamento foram distribuídos em quatro baias coletivas equipadas com portões eletrônicos (*Calan Gates, American Calan Inc., Northwood, NH, USA*) permitindo o controle individual da alimentação. Todos os animais foram submetidos à uma adaptação às instalações por 10 dias, seguido de uma adaptação à dieta por um período de 21 dias. Os animais deste sistema foram alimentados com uma única dieta (relação de 20:80 de volumoso e concentrado, respectivamente, Tabela 3), a qual foi formulada usando o programa RLM (Integra Software, Piracicaba, São Paulo, Brasil) para animais castrados Angus x Nelores atingirem um ganho de peso de 1.5 kg/d. Os animais C-A foram alimentados *ad libitum* para atingir seu ganho máximo, enquanto os animais C-B receberam 70% do ofertado para os animais C-A, com o objetivo de controlar a taxa de crescimento.

2.2.4. Desempenho e características de carcaça avaliadas por ultrassonografia

Os 72 animais foram pesados após um jejum de sólidos de 14h no início e no final do estudo. Além disso, os animais foram pesados quinzenalmente (sem jejum) com o intuito de acompanhar as taxas de ganho, além de realizar avaliações de carcaça por ultrassonografia nos dias 1, 28, 56, 116, 134, 178, 214, 262 e 292 do estudo, utilizando um equipamento de ultrassom, marca Aloka, modelo SSD 500 Micrus (Aloka Co. Ltd.), com transdutor linear de 3,5 MHz e 172 mm de comprimento. Foram colhidas imagens para determinação da área de olho de lombo (AOLU) e da espessura de gordura subcutânea (EGSU) entre a 12^a e a 13^a costelas. Uma segunda imagem sobre o músculo *Bíceps femoris* entre o ílio e o ísquio foi realizada para determinar a espessura de gordura sobre este ponto (EGPU) utilizando o software Lince® (M & S Consultoria Agropecuária Ltda. Pirassununga, SP, Brasil).

2.2.5. Características de carcaça no abate

Quando os animais de cada tratamento atingiram o critério de abate pré-definido, estes foram abatidos no abatedouro escola da Universidade de São Paulo no *campus* de

Pirassununga, Brasil, de acordo com os procedimentos humanitários, conforme exigido pela legislação brasileira. Durante o abate foram obtidos os dados de gordura renal, pélvica e inguinal (GRPI), peso de carcaça quente (PCC) e rendimento de carcaça (RC). Após o abate as meias-carcaças foram identificadas e refrigeradas (0-2 °C) por 24h. Em seguida foi realizada a secção do músculo *Longissimus thoracis* (LT) na região entre a 12^a e a 13^a costelas, onde foi obtida uma imagem digital para a para determinação da área de olho de lombo (AOL_C) e da espessura de gordura subcutânea (EGS_C) utilizando o software Lince® (M & S Consultoria Agropecuária Ltda. Pirassununga, SP, Brasil). Além disso, três amostras do musculo LT (2,5 cm de espessura cada), foram coletadas no sentido caudo-cranial, identificadas e embaladas à vácuo para serem maturadas (2-4°C) por 0, 7 e 14 dias (1, 8 e 15 dias pós-abate, respectivamente) para realização de posteriores análises de cor, perdas por cocção e força de cisalhamento. Uma quarta amostra do LT foi coletada, identificada e congelada em nitrogênio líquido para posterior análises de pH 24h.

2.2.6. pH, cor, perdas por cocção e força de cisalhamento

O pH 24h foi determinado usando o método descrito por Bendall (1973). A amostra foi macerada e colocada numa solução tampão contendo iodoacetato de sódio 5mM e 150mM de KCl, pH 7. As amostras foram centrifugadas, equilibradas a 25 ° C, e o pH foi medido usando o eletrodo de vidro de pH (Hanna Instruments - modelo HI99163, São Paulo, Brasil).

Ao final de cada período de maturação, foram realizadas avaliações de cor (L*, a*, b*) de acordo com a metodologia descrita pela AMSA (2015), após 30 min de *blooming* utilizando um espectrofotômetro modelo CM2500d (Konica Minolta Brasil, São Paulo, Brasil), com iluminante padrão D₆₅, ângulo de observação de 10° e abertura do obturador de 30 mm. Em seguida as amostras foram utilizadas para avaliação da força de cisalhamento (WBSF) e perdas por cocção (PPC), de acordo com a metodologia descrita por AMSA (2015). A FC foi determinada utilizando um equipamento TMS-PRO *texture analyzer* (FoodTechnology Corporation, Sterling, Virginia, USA). A PPC foi calculada pela diferença do peso da amostra entre antes e depois da cocção.

2.2.7. *Análises de aceitação sensorial*

Uma amostra do LT foi maturada por 7 dias, e em seguida foi congelada (-20° C) para posteriormente ser usada na análise sensorial. No dia da análise, a amostra foi cozida de forma similar às análises de WBSF. A amostra cozida foi cortada em peças de 1.27 x 1.27 x 2.54 cm, evitando gordura e qualquer tecido conjuntivo visível, embrulhadas em papel alumínio e colocados em banho-maria (70 ° C) antes de serem servidas aos consumidores. As amostras foram colocadas em um copo de plástico com um número aleatório de três dígitos para cada tratamento e servidas aleatoriamente aos participantes com um copo de água e bolachas sem sal (Selmi, Sumaré, São Paulo, Brasil) para limpar o paladar entre a avaliação das amostras. As análises sensoriais foram realizadas em cabines individuais sob condições controladas de luz vermelha e temperatura (22 ± 2 °C).

A análise sensorial foi realizada em dois dias diferentes, um para cada critério de abate. Assim, amostras de animais abatidos pelo critério de peso de abate foram avaliados no dia 1, enquanto as amostras de animais abatidos pelo critério de tempo de alimentação foram avaliadas no dia 2. Os dois dias das análises foram realizados pelos mesmos trabalhadores da equipe, no mesmo laboratório e mantidos exatamente os mesmos procedimentos, conforme descrito acima. Um total de 104 e 102 consumidores participaram nos dias 1 e 2, respectivamente. Todos de maneira voluntária preencheram um questionário sobre hábitos de consumo de carne. Além disso, foi realizado monadicamente a avaliação de quatro tratamentos por cada panelista para aceitação geral, suculência, maciez e sabor usando uma escala hedônica de nove pontos (extremamente detestei - 1; nem gostei nem detestei -5; extremamente gostei com - 9), seguindo as recomendações da *American Meat Science Association* (2015). Além disso, os dados de aceitação geral de cada consumidor foram usados para criar *clusters*, grupos de consumidores foram identificados e a porcentagem de aceitação de cada tratamento foi estabelecida.

2.2.8. *Análise estatística*

Os dados foram analisados em um delineamento inteiramente casualizado usando o procedimento MIXED do programa estatístico SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) e cada critério foi analisado separadamente. Os tratamentos foram incluídos como efeito fixo,

o animal e o piquete foram considerados como a unidade experimental no sistema de terminação em confinamento e a pasto, respectivamente, para as características de desempenho e carcaça. Para as análises de qualidade de carne, o animal foi considerado a unidade experimental em todos os tratamentos. Para a análise de aceitação sensorial o consumidor foi considerado como efeito aleatório. Os pesos e avaliações da carcaça por ultrassonografia foram analisadas como medida repetida no tempo. Os dados de cor, PPC e FC ao longo do tempo de maturação foram analisados como *split-plot*. As médias dos tratamentos foram obtidas pelo procedimento LSMMeans e quando encontradas diferenças entre os tratamentos, foram comparados utilizando o Teste t de *Student* com nível de significância de 5%.

2.3. Resultados

O ganho de peso estipulado inicialmente para cada tratamento foi próximo do observado (Tabela 4), apenas o grupo de animais P-A quando abatidos com base no peso apresentou um menor GMD em relação ao esperado. Quando os animais foram abatidos com base no tempo de alimentação, animais C-A e P-B apresentaram os maiores e menores pesos de abate ($P < 0.001$), respectivamente, enquanto animais C-B e P-A tiveram um peso final intermediário, sem diferenças entre eles.

Tabela 4. Médias, Erro Padrão da média (\pm) e probabilidade ($Pr < F$) do efeito do sistema de terminação e taxa de ganho de peso no desempenho nos dois critérios de abate.

Características	Tratamento				<i>Pr > F</i>
	C-A	C-B	P-A	P-B	
<i>Critério de abate com base no peso (530 kg)</i>					
Tempo de alimentação, dias	116	228	262	292	-
Peso inicial, kg	349 \pm 8,4	331 \pm 8,4	335 \pm 11,9	329 \pm 11,9	0,446
Peso final, kg	534 \pm 8,3	526 \pm 8,3	535 \pm 11,7	515 \pm 11,7	0,558
Ganho médio diário, kg/d	1,51 ^a \pm 0,04	0,94 ^b \pm 0,04	0,76 ^c \pm 0,06	0,62 ^d \pm 0,06	<0,001
<i>Critério de abate com base no tempo de alimentação (140 dias)</i>					
Tempo de alimentação, dias	140	140	140	140	-
Peso inicial, kg	363 \pm 9,81	338 \pm 9,81	335 \pm 14,55	335 \pm 14,55	0,263
Peso final, kg	582 ^a \pm 13,5	456 ^b \pm 13,5	463 ^b \pm 20,4	419 ^c \pm 20,4	<0,001
Ganho médio diário, kg/d	1,58 ^a \pm 0,05	0,85 ^b \pm 0,05	0,91 ^b \pm 0,08	0,60 ^c \pm 0,08	<0,001

^{a,b,c} letras comuns não diferem significativamente pelo teste de t de Student ($P \leq 0,05$). C-A: Confinamento com alta taxa de ganho de peso; C-B: Confinamento com baixa taxa de ganho de peso; P-A: Pasto com alta taxa de ganho de peso; P-B: Pasto com baixa taxa de ganho de peso.

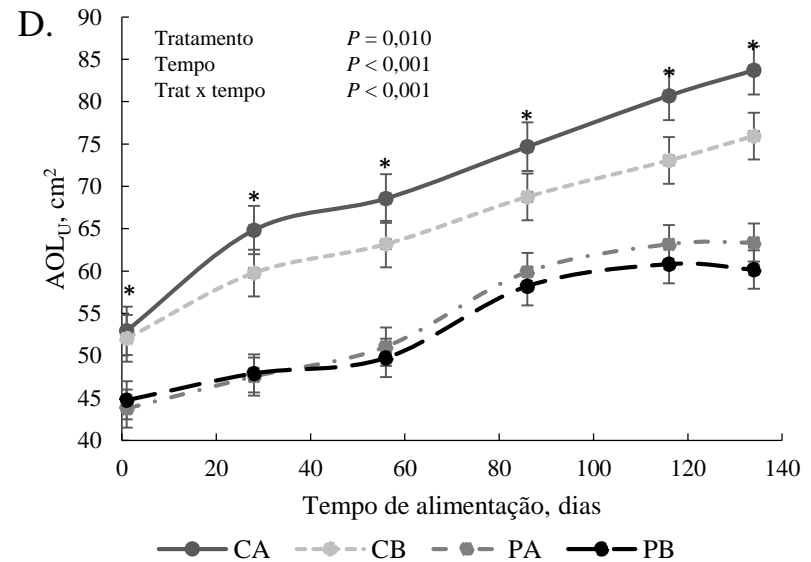
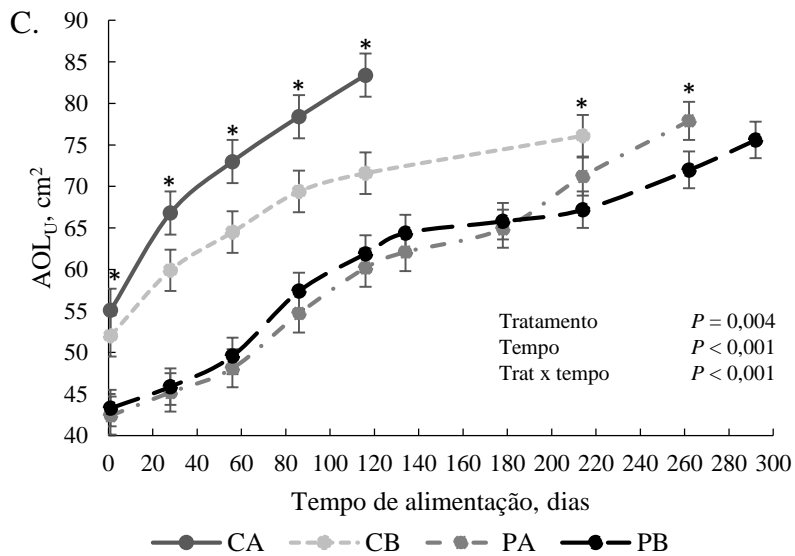
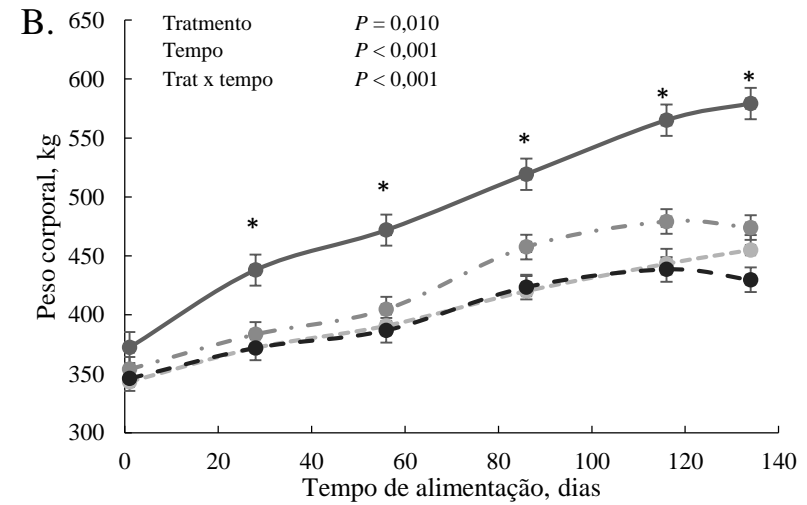
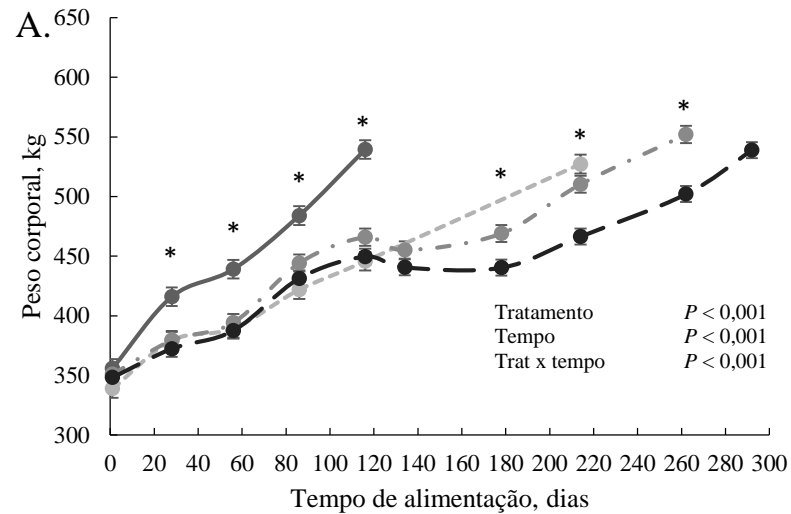
2.3.1. Pesos e características de carcaça avaliadas por ultrassonografia

Foi observada uma interação entre tratamento e tempo de experimento ($P < 0,001$) para o peso em ambos os critérios de abate (Figura 11A e 11B), no qual não foi observada diferença no peso inicial entre os tratamentos. Animais C-A foram mais pesados ($P < 0,01$) após 28 dias até o final do estudo, em ambos os critérios de abate. Os animais P-A foram mais pesados ($P < 0,05$) que os animais C-B no dia 86 no critério de abate por peso, entretanto não foram observadas diferenças no peso em nenhum dia do estudo entre estes dois grupos quando abatidos com base no tempo de alimentação. Os animais P-A apresentaram maiores pesos que animais P-B depois do dia 56 e 134 no critério de abate por tempo de alimentação e peso, respectivamente. Além disso, houve interação entre tratamento e tempo de experimento ($P < 0,001$) para a AOL avaliada por ultrassonografia em ambos os critérios de abate (Figura 11C e 11D). Animais terminados em confinamento (C-A e C-B) tiveram

maiores AOL do que animais terminados a pasto (P-A e P-B) em todos os tempos avaliados, em ambos os critérios de abate. Entretanto, no dia 214, animais C-B e P-A pertencentes ao critério de abate por peso apresentaram similar AOL. Além disso, animais C-A apresentaram maiores AOL quando comparado com animais C-B depois de 56 e 86 dias de alimentação, quando abatidos com base no peso e no tempo de alimentação, respectivamente ($P < 0,05$). Animais terminados a pasto apresentaram similar AOL em todos os tempos avaliados em ambos os critérios de abate.

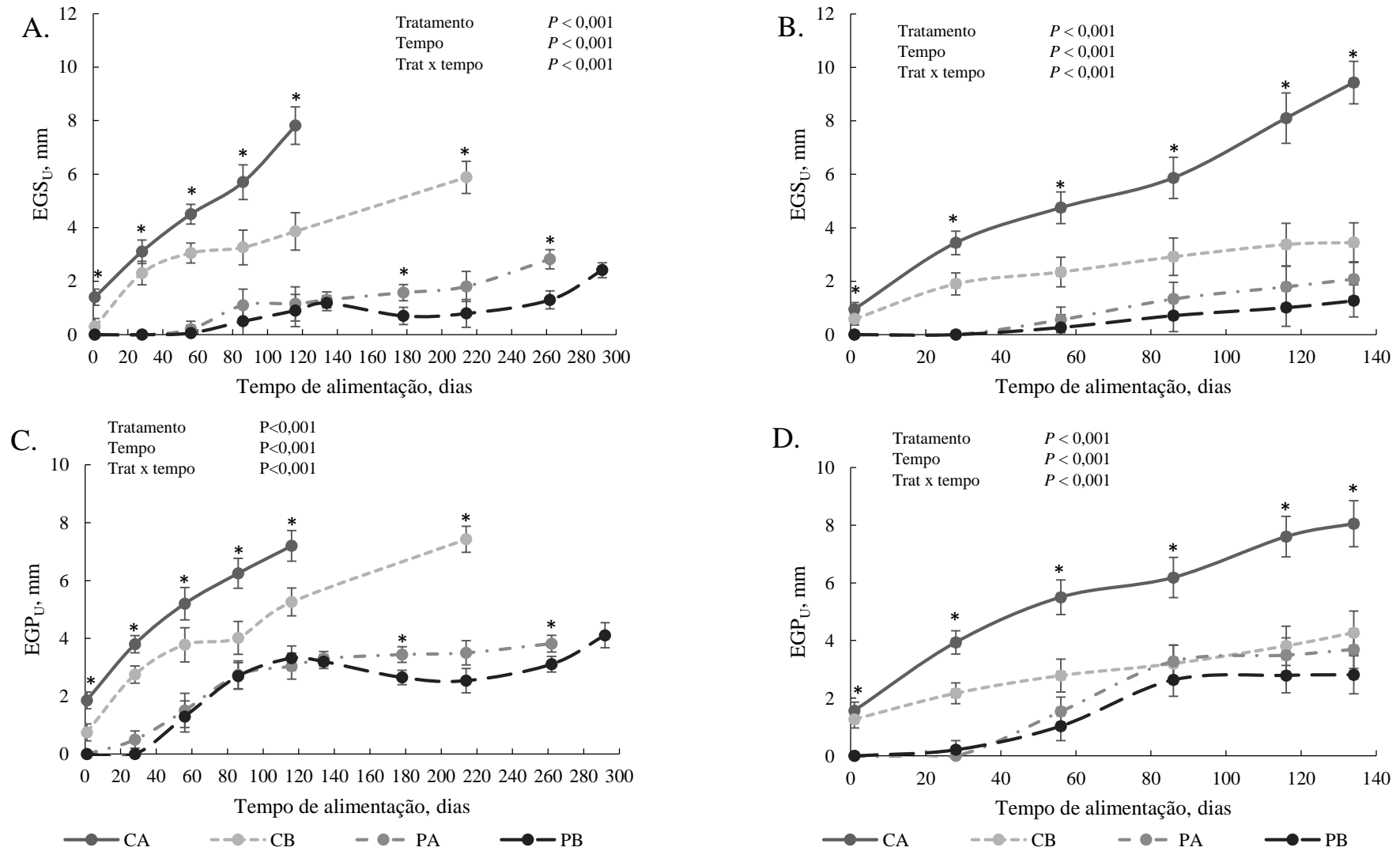
Houve interação entre tratamento e tempo de experimento para a EGS (Figura 12A e 12B) e para a EGP (Figura 12C e 12D) em ambos os critérios de abate ($P < 0,001$). Animais terminados em confinamento (C-A e C-B) tiveram maiores valores de EGS ($P < 0,05$) e EGP ($P < 0,05$) na primeira avaliação quando comparado com os animais terminados a pasto (PA e PB). Animais C-A tiveram maior EGS e EGP quando comparado com animais terminados a pasto ($P < 0,001$) e animais C-B ($P < 0,05$) desde a primeira (dia 1) e segunda (dia 28) avaliação, respectivamente, em ambos os critérios de abate. Além disso, animais C-B tiveram maior EGS e EGP que os animais P-A ($P < 0,05$) e P-B ($P < 0,05$) depois de 28 dias de alimentação quando abatidos com base no peso. Entretanto, no critério de abate baseado no tempo de alimentação, animais C-B apresentaram maiores valores de EGS e EGP que animais P-A e P-B desde o primeiro dia até o dia 86 e 56, respectivamente, depois desses dias não foram observadas diferenças.

Figura 11. Média e erro padrão da média (i) do peso corporal e da área de olho de lombo (AOLU) avaliada por ultrassonografia de acordo com o tempo de alimentação e dos tratamentos.



(C-A= confinamento com alta taxa de crescimento; C-B= confinamento com baixa taxa de crescimento; P-A= pasto com alta taxa de crescimento; P-B= pasto com baixa taxa de crescimento). Figura A e C representam os animais abatidos com base no peso, enquanto figuras B e D os animais abatidos com base no tempo de alimentação. * diferem significativamente pelo teste de *t* de Student ($P \leq 0,05$).

Figura 11. Média e erro padrão da média (\bar{x}) da espessura de gordura subcutânea (EGS_U) e espessura de gordura na picanha (EGP_U) avaliada por ultrassonografia de acordo com o tempo de alimentação e dos tratamentos.



C-A= confinamento com alta taxa de crescimento; C-B= confinamento com baixa taxa de crescimento; P-A= pasto com alta taxa de crescimento; P-B= pasto com baixa taxa de crescimento. Figura A e C representam os animais abatidos com base no peso (530 kg), enquanto figuras B e D os animais abatidos com base no tempo de alimentação (140 dias). * diferem significativamente pelo teste de t de Student ($P \leq 0,05$).

Em adição, no critério de abate com base no peso, animais P-A tiveram maiores EGS e EGP que animais P-B depois de 178 dias de alimentação, enquanto no critério de abate com base no tempo de alimentação não foram encontradas diferenças na deposição de gordura entre estes dois tratamentos.

2.3.2. *Características de carcaça após o abate*

Quando os animais foram abatidos com base no peso final, os animais alimentados em confinamento tiveram maior deposição de GRPI ($P < 0,001$) do que aqueles alimentados a pasto (Tabela 5). A EGS avaliada na carcaça ($P = 0,085$) tendeu a diferir entre os tratamentos, nos quais os animais C-A apresentaram maior EGS quando comparados aos animais alimentados a pasto. Os animais C-A apresentaram maior concentração de lipídio intramuscular total ($P = 0,044$) do que animais terminados a pasto, e animais C-B não diferiram dos animais P-A, entretanto apresentou maiores valores quando comparado com os animais P-B. Não houve diferença para a gordura intramuscular entre os tratamentos terminados a pasto ($P < 0,05$). Além disso, o PCQ, RC, AOL e pH24h não apresentaram diferença entre tratamento.

Quando os animais foram abatidos com base no tempo de alimentação, animais C-A tiveram maiores PCQ ($P < 0,001$) quando comparado com ambos os tratamentos do sistema a pasto, entretanto animais P-A não diferiram para esta característica quando comparado com animais C-B e P-B. Além disso, animais terminados em confinamento apresentaram maior RC ($P = 0,011$) que animais terminados a pasto. Animais C-A apresentaram maiores AOL ($P < 0,001$), EGS ($P < 0,001$) e GRPI ($P < 0,001$) quando comparado com os outros tratamentos, enquanto animais P-A e P-B não diferiram para estas características. Em adição, animais C-A apresentaram menor valor de pH 24h ($P = 0,039$) e maior concentração de lipídios intramuscular total ($P = 0,008$) quando comparado com animais terminados a pasto.

Tabela 5. Médias, Erro Padrão da média (\pm) e probabilidade ($Pr>F$) do efeito do sistema de terminação e taxa de ganho de peso no desempenho e características da carcaça nos dois critérios de abate.

Característica	Tratamentos				<i>Pr>F</i>
	C-A	C-B	P-A	P-B	
<i>Critério de abate com base no peso (530 kg)</i>					
Peso de carcaça quente, kg	303 \pm 5,3	294 \pm 5,3	298 \pm 7,5	282 \pm 7,5	0,172
Rendimento de carcaça, %	56,7 \pm 0,59	56,0 \pm 0,59	55,8 \pm 0,84	54,6 \pm 0,84	0,274
Gordura renal, pélvica e inguinal, kg	16,3 ^a \pm 0,92	14,4 ^a \pm 0,92	9,3 ^b \pm 1,30	8,7 ^b \pm 1,30	<0,001
Área do musculo <i>Longissimus</i> , cm ²	81,6 \pm 2,56	74,1 \pm 2,56	80,4 \pm 3,63	74,5 \pm 3,63	0,185
Espessura de gordura subcutânea, mm	6,4 \pm 0,79	5,1 \pm 0,79	3,2 \pm 1,12	3,2 \pm 1,12	0,085
pH _{24h}	5,76 \pm 0,06	5,83 \pm 0,06	5,86 \pm 0,08	5,76 \pm 0,08	0,693
Lipídeos totais, %	6,06 ^a \pm 0,76	4,95 ^{ab} \pm 0,76	3,14 ^{bc} \pm 1,07	2,27 ^c \pm 1,07	0,044
<i>Critério de abate com base no tempo de alimentação (140 dias)</i>					
Peso de carcaça quente, kg	327 ^a \pm 9,2	258 ^b \pm 8,5	245 ^{bc} \pm 12,9	225 ^c \pm 12,9	<0,001
Rendimento de carcaça, %	56,2 ^a \pm 0,62	56,4 ^a \pm 0,58	53,1 ^b \pm 0,89	53,4 ^b \pm 0,89	0,011
Gordura renal, pélvica e inguinal, kg	19,0 ^a \pm 1,18	9,9 ^b \pm 1,18	3,8 ^c \pm 1,67	3,3 ^c \pm 1,67	<0,001
Área do musculo <i>Longissimus</i> , cm ²	83,8 ^a \pm 2,91	75,1 ^b \pm 2,70	62,0 ^c \pm 4,12	58,4 ^c \pm 4,12	<0,001
Espessura de gordura subcutânea, mm	8,5 ^a \pm 0,76	3,6 ^b \pm 0,70	2,1 ^{bc} \pm 1,07	1,4 ^c \pm 1,07	<0,001
pH _{24h}	5,59 ^c \pm 0,08	5,72 ^{bc} \pm 0,08	5,89 ^{ab} \pm 0,12	6,04 ^a \pm 0,12	0,039
Lipídeos totais, %	4,24 ^a \pm 0,40	3,26 ^b \pm 0,37	1,92 ^c \pm 0,56	1,90 ^c \pm 0,56	0,008

^{a,b,c} letras comuns não diferem significativamente pelo teste de t de *Student* ($P \leq 0,05$). C-A: Confinamento com alta taxa de ganho de peso; C-B: Confinamento com baixa taxa de ganho de peso; P-A: Pasto com alta taxa de ganho de peso; P-B: Pasto com baixa taxa de ganho de peso.

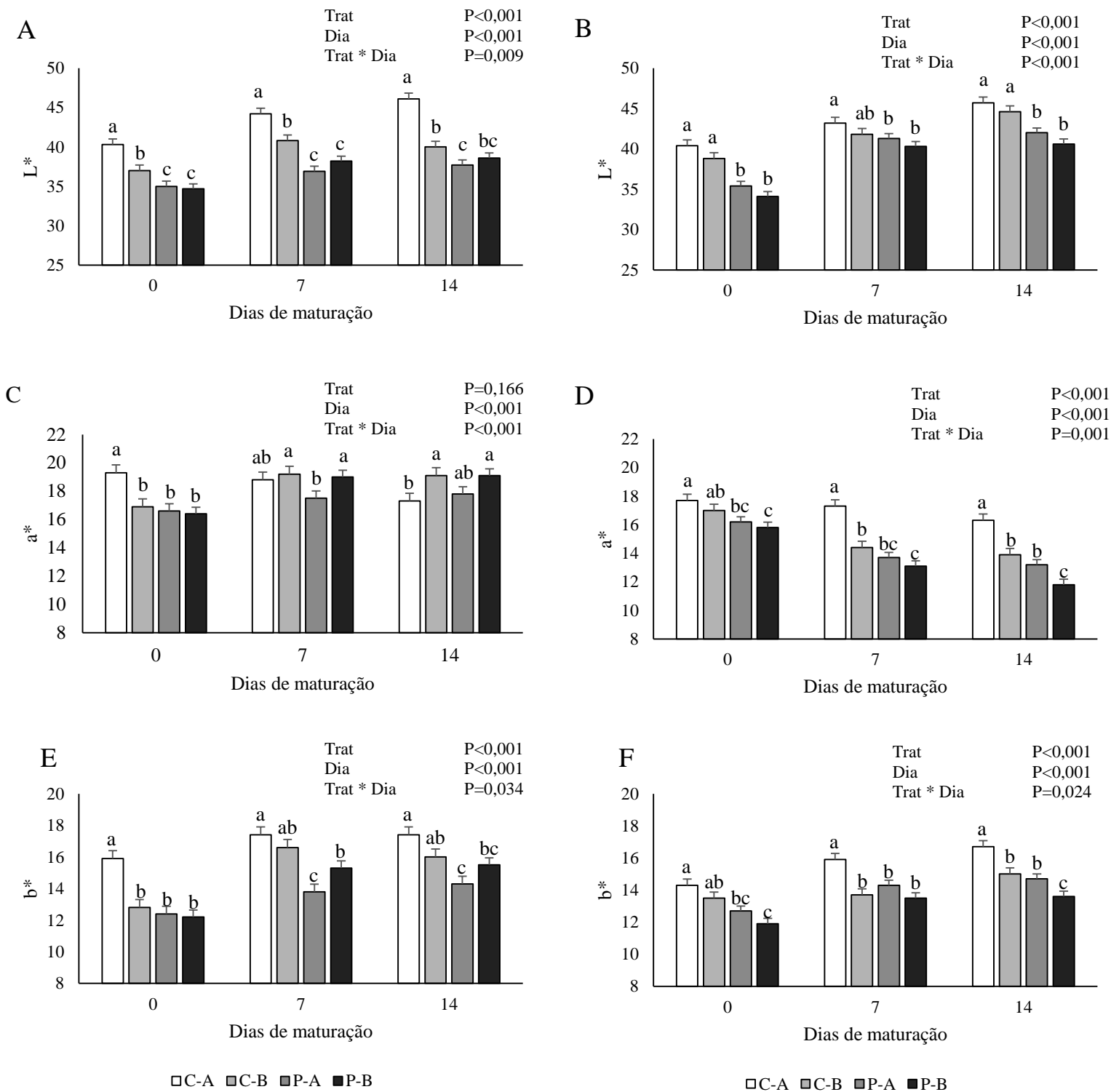
2.3.3. Cor da carne

Foi encontrada uma interação entre os tratamentos e tempos de maturação para os valores de L*, a* e b* em ambos os critérios de abate (Figura 13. $P < 0,05$). Quando os

animais foram abatidos com base no peso, as carnes de animais C-A tiveram os maiores valores de L^* do que os outros tratamentos em todos os tempos avaliados ($P < 0,05$). Além disso, carnes sem maturação e maturadas por 7 dias de animais C-B tiveram maiores valores L^* do que os animais P-A e P-B ($P < 0,05$), enquanto os últimos dois tratamentos não diferiram. Carne sem maturação de animais C-A apresentaram os maiores valores de a^* e b^* quando comparado com os outros tratamentos ($P < 0,05$). No entanto, as carnes sem maturação de animais C-B não diferiram nos valores a^* e b^* quando comparados com os animais P-A e P-B. Em adição, nenhuma diferença foi observada para os valores a^* quando comparado animais C-A com os outros tratamentos em carnes com 7 dias de maturação, enquanto animais P-A apresentaram menores valores quando comparado com animais C-B e P-B. As carnes de animais C-A apresentaram maiores valores de b^* do que animais P-A ($P < 0,001$) e P-B ($P < 0,05$), enquanto os animais C-B tiveram maiores valores de b^* do que os animais P-A ($P < 0,05$) quando as carnes foram maturadas por 7 e 14 dias.

Quando os animais foram abatidos com base no tempo de alimentação, as carnes sem maturação e maturadas por 14 dias de animais terminados em confinamento apresentaram maiores valores de L^* quando comparado com animais terminados a pasto, enquanto aos 7 dias de maturação animais C-B tiveram similar valor de L^* quando comparado com todos os tratamentos. Além disso, carne de animais C-A apresentaram maiores valores de a^* e b^* quando comparado com animais PA ($P < 0,05$) e animais P-B ($P < 0,05$) em todos os tempos avaliados. Em adição, carnes maturadas por 7 e 14 dias de animais C-A apresentaram valores de a^* maiores ($P < 0,001$) e b^* ($P < 0,05$) do que animais C-B, enquanto estes últimos não diferiram com animais P-A em todos os tempos avaliados. Assim como também, carnes sem maturação e maturadas por 7 dias de animais P-A e P-B não diferiram nos valores a^* e b^* , entretanto animais P-A apresentaram maiores valores destas características com 14 dias de maturação quando comparado com animais P-B.

Figura 12. Médias, erro padrão (1) e probabilidades de valores de cor de acordo com o período de maturação e o sistema de terminação. As figuras A, C e E representam os animais abatidos com base no peso final e as figuras B, D e F dos animais abatidos a tempo na alimentação.



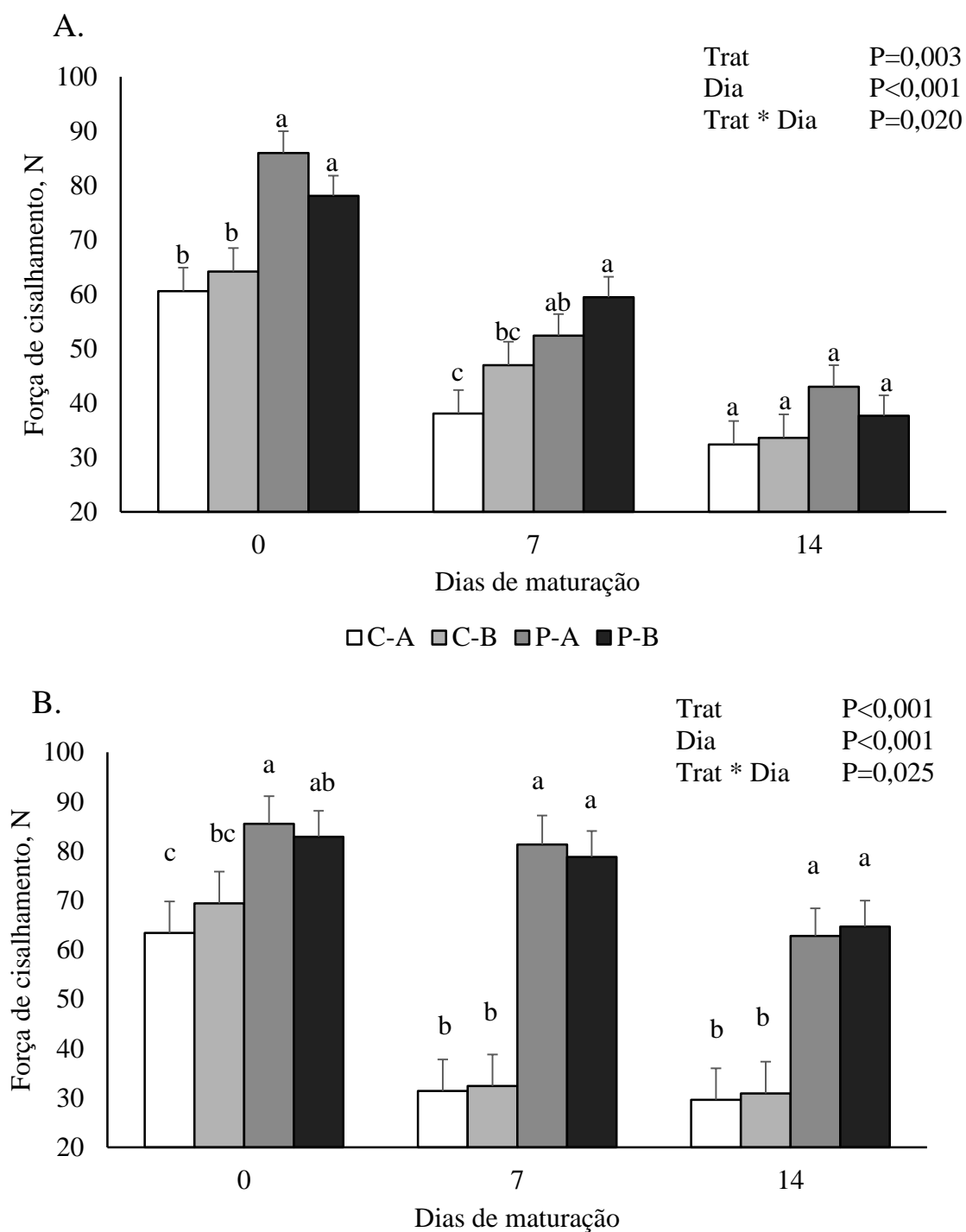
a, b, c letras comuns não diferem significativamente pelo teste de *t* de Student ($P \leq 0,05$). C-A: Confinamento com alta taxa de ganho de peso; C-B: Confinamento com baixa taxa de ganho de peso; P-A: Pasto com alta taxa de ganho de peso; P-B: Pasto com baixa taxa de ganho de peso.

2.3.4. *Maciez da carne*

Foi observada uma interação entre tratamento e tempo de maturação para WBSF em ambos os critérios de abate (Fig. 14; $P < 0,05$). Quando os animais foram abatidos com base no peso final, as carnes sem maturação de animais terminados em confinamento apresentaram valores de WBSF mais baixos do que aqueles animais terminados a pasto ($P < 0,05$). Carnes com 7 dias de maturação dos animais C-A tiveram menores valores de WBSF quando comparado com os animais P-A ($P < 0,05$) e P-B ($P < 0,001$), mas não houve diferenças entre estes dois últimos tratamentos. Assim como também, não houve diferença na WBSF com 14 dias de maturação entre os tratamentos.

Por outro lado, quando os animais foram abatidos com base no tempo de alimentação, a carne sem maturação de animais CA apresentou o menor valor de WBSF do que os animais P-A ($P = 0,009$) e P-B ($P = 0,025$), enquanto estes dois últimos não diferiram. Entretanto, carne sem maturação de animais P-A tiveram maiores valores de WBSF do que os animais C-B ($P = 0,046$). Além disso, carnes com 7 e 14 dias de maturação dos animais alimentados em confinamento tiveram menores valores de WBSF do que aqueles animais alimentados a pasto ($P < 0,001$).

Figura 13. Médias, erro padrão da média (1) e probabilidades da força de cisalhamento de acordo com o período de maturação e o sistema de terminação no critério de abate por peso (A) e por tempo de alimentação (B).



^{a,b,c} letras comuns não diferem significativamente pelo teste de t de *Student* ($P \leq 0,05$). C-A: Confinamento com alta taxa de ganho de peso; C-B: Confinamento com baixa taxa de ganho de peso; P-A: Pasto com alta taxa de ganho de peso; P-B: Pasto com baixa taxa de ganho de peso.

2.3.5. *Análise de aceitação sensorial*

Cento e quatro consumidores participaram da análise sensorial dos animais abatidos com base no peso. Todos os participantes preencheram um formulário para caracterização dos consumidores, foi observado que 65% deles eram do gênero feminino e 35% do gênero masculino, os quais tinham idades entre 17 e 40 anos e eram majoritariamente do estado de São Paulo (86%) (Tabela 6). Além disso, 29% dos consumidores tinham uma renda superior a 6 salários mínimos (salário mínimo base de R\$ 998,00), enquanto 48% tinham uma renda mensal entre 4 e 6 salários e 23% tinham uma renda mensal inferior a 3 salários. Mais da metade dos provadores (72%) consumiam carne bovina mais de 4 vezes na semana. Os consumidores determinaram que a cor é o atributo mais importante no momento da compra da carne (40%), seguido pelo preço (26%). A compra de cortes frescos (63%) foi preferida entre os consumidores, seguido por 23% e 14% no qual preferem comprar carnes embaladas a vácuo ou em bandejas, respectivamente. O sabor (51%) foi o atributo mais importante no momento do consumo da carne, seguido pela maciez (38%). Além disso, 19% dos consumidores preferem carne de animais terminados em confinamento e 17% prefere carne de animais terminados a pasto, porém 46% dos consumidores não sabem opinar em relação à origem da carne, enquanto para 18% dos consumidores o sistema de terminação dos animais é indiferente.

Enquanto no critério de abate com base no tempo de alimentação, a partir do formulário preenchido pelo consumidor (n=102), foi observado que 65% dos consumidores foram do gênero feminino e 35% do gênero masculino, os quais tinham idades entre 17 e 40 anos e eram majoritariamente do estado de São Paulo (85%). Além disso, 32% dos consumidores tinham uma renda superior a 6 salários mínimos (salário mínimo base de R\$ 998,00), enquanto 38% tinham uma renda mensal entre 4 e 6 salários e 30% tinham uma renda mensal inferior a 3 salários. Mais da metade dos provadores (69%) consumiam carne bovina mais de 4 vezes na semana. Os consumidores determinaram que a cor é o atributo mais importante no momento da compra da carne, seguido pelo preço. A compra de cortes frescos (74%) foi preferida entre os consumidores, seguido por 13% e 12% no qual preferem comprar carnes em bandejas ou embaladas a vácuo, respectivamente.

Tabela 6. Caracterização dos consumidores que participaram da análise sensorial.

Característica	Peso² (%)	Tempo³ (%)
<i>Gênero</i>		
Feminino	65	65
Masculino	35	35
<i>Renda familiar¹</i>		
1 a 3 salários mínimos mensais	23	30
4 a 6 salários mínimos mensais	48	38
Mais que 6 salários mínimos mensais	29	32
<i>Consumo de carne bovina por semana</i>		
1 vez	2	1
2 vezes	4	8
3 vezes	22	23
4 vezes	25	30
Mais de 5 vezes	47	39
<i>Caraterística mais importante na compra da carne</i>		
Hábito de consumo	24	31
Cor da carne	40	34
Preço	26	29
Maturação da carne	7	5
Gordura intramuscular	3	1
<i>Apresentação da carne no momento da compra</i>		
Corte fresco	63	74
Embalada a vácuo	23	12
Bandejas na prateleira do mercado	14	13
<i>Característica mais importante no consumo da carne</i>		
Maciez	38	36
Sabor	51	49
Suculência	7	7
Aroma	4	4
<i>Origem da carne</i>		
Animal terminado a pasto	17	11
Animal terminado em confinamento	19	27
Não se importa	18	17
Não sabe opinar	46	45

¹ Salário mínimo de R\$ 998,00 no 2019.² Critério de abate por peso (530 kg).³ Critério de abate por tempo de alimentação (140 dias)

O sabor (49%) foi o atributo mais importante no momento do consumo da carne, seguido pela maciez (36%). Além disso, 27% dos consumidores preferem carne de animais

terminados em confinamento e 11% prefere carne de animais terminados a pasto, porém 45% dos consumidores não sabem opinar em relação à origem da carne, enquanto para 17% dos consumidores o sistema de terminação dos animais é indiferente.

Além disso, quando os animais foram abatidos com base no peso, os tratamentos C-A e C-B tiveram maior aceitação geral, de sabor, de maciez e de suculência do que a dos animais dos tratamentos P-A e P-B ($P < 0,001$; Tabela 6). Sem encontrar diferença entre os tratamentos com diferentes taxas de ganho dentro de cada sistema de terminação. Além disso, cinco clusters de consumidores foram identificados ($P < 0,001$) com base na aceitação geral das amostras na análise sensorial (Tabela 7). No cluster 1 ($n = 43$) no qual todos os tratamentos tiveram notas maiores a 6, entretanto a carne de C-A teve maior aceitação que animais P-A e P-B, além disso carne de animais C-B não teve diferença com os tratamentos C-A e P-B, porém teve maiores notas de aceitação que carne de animais P-A. Em adição, não houve diferença entre os tratamentos P-A e PB. No cluster 2 ($n=16$), carne de animais P-A apresentaram menor aceitação quando comparado com os outros tratamentos. No cluster 3 ($n=10$), animais terminados em confinamento independente da TGP (C-A e C-B) apresentaram maiores notas de aceitação quando comparado com os tratamentos dos animais terminados à pasto (P-A e P-B). No cluster 4 ($n=18$), os consumidores deram maiores notas para a carne dos animais C-A e P-A quando comparado com os tratamentos C-B e P-B. No cluster 5 ($n=16$), os consumidores deram maiores notas a animais C-B e menores notas a carne de animais P-B quando comparado com os tratamentos C-A e P-A. Além disso, foi observado que 42%, 70%, 0% e 42% dos provadores ranquearam a carne dos tratamentos C-A, C-B, P-A e P-B como sete ou maior que 7, enquanto que 100%, 83%, 57% e 57% ranquearam como 6 ou maior e 100%, 83%, 75% e 57% ranquearam como 5 ou maior, respectivamente.

Tabela 7. Médias, Erro Padrão da média (EPM) e probabilidade ($Pr>F$) do efeito do sistema de terminação e taxa de ganho de peso nos atributos de aceitação sensorial da carne nos dois critérios de abate.

Característica	C-A	C-B	P-A	P-B	EPM	Valor P
<i>Critério de abate por peso - 530 kg (n = 104)</i>						
Aceitação geral	7,0 ^a	6,9 ^a	6,1 ^b	5,8 ^b	0,16	<0,001
Sabor	6,9 ^a	6,8 ^a	6,4 ^b	6,3 ^b	0,14	0,001
Maciez	7,0 ^a	6,6 ^a	5,5 ^b	5,2 ^b	0,20	<0,001
Suculência	6,7 ^a	6,9 ^a	6,0 ^b	5,9 ^b	0,16	<0,001
<i>Critério de abate por tempo de alimentação - 140 dias (n = 102)</i>						
Aceitação geral	7,3 ^a	6,5 ^b	5,0 ^d	5,4 ^c	0,17	<0,001
Sabor	7,0 ^a	6,1 ^b	5,6 ^c	5,8 ^{bc}	0,17	<0,001
Maciez	7,4 ^a	6,5 ^b	3,7 ^d	4,6 ^c	0,19	<0,001
Suculência	6,9 ^a	6,4 ^b	5,4 ^c	5,7 ^c	0,15	<0,001

^{a,b,c} letras comuns não diferem significativamente pelo teste de t de *Student* ($P \leq 0,05$). C-A: Confinamento com alta taxa de ganho de peso; C-B: Confinamento com baixa taxa de ganho de peso; P-A: Pasto com alta taxa de ganho de peso; P-B: Pasto com baixa taxa de ganho de peso.

A carne de animais do tratamento C-A apresentam maior aceitação geral, de sabor, de maciez e de suculência quando comparado com os outros tratamentos ($P < 0,0001$; tabela 7). Além disso, a carne de animais C-B apresenta maior aceitação geral, de maciez e de suculência quando comparado com os tratamentos P-A e P-B, entretanto C-B apresenta maior valor de sabor quando comparado com o tratamento P-A, porém não houve diferença com o tratamento P-B. Animais do sistema de terminação a pasto (P-A e P-B) não apresenta diferenças no sabor e suculência da carne, embora animais P-B apresenta maior aceitação geral e maior maciez quando comparado com animais P-A. No cluster 1 ($n = 29$) no qual todos os tratamentos tem notas maiores a 6, a carne de C-A teve maior aceitação quando comparado com os outros tratamentos ($P < 0,001$). No cluster 2 ($n=23$), carne de animais P-A apresentaram menor aceitação quando comparado com os outros tratamentos ($P < 0,001$). No cluster 3 ($n=24$), animais terminados em confinamento independente da TGP (C-A e C-B) apresentaram maiores notas de aceitação quando comparado com os tratamentos dos animais terminados à pasto (P-A e P-B), entretanto animais P-A apresenta maior aceitação quando comparado com a carne P-B ($P < 0,001$).

Tabela 8. Médias, Erro Padrão da média (EPM) e probabilidade (Pr>F) do efeito do sistema de terminação e taxa de ganho de peso na análise de clusters da aceitação geral da carne nos dois critérios de abate.

Característica	n	C-A	C-B	P-A	P-B	EPM	Pr>F
<i>Critério de abate por peso - 530 kg (n = 103)</i>							
Cluster 1	43	7,7 ^a	7,3 ^{ab}	6,8 ^c	7,0 ^{bc}	0,18	<0,001
Cluster 2	16	6,1 ^a	6,9 ^a	4,9 ^b	6,3 ^a	0,38	0,006
Cluster 3	10	6,6 ^a	7,3 ^a	4,5 ^b	4,4 ^b	0,46	<0,001
Cluster 4	18	6,5 ^a	4,7 ^b	5,9 ^a	4,8 ^b	0,37	<0,001
Cluster 5	16	6,9 ^b	7,6 ^a	6,9 ^b	3,4 ^c	0,26	<0,001
% de panelistas com escore 7 o maior	com	42%	70%	0%	42%	-	-
% de panelistas com escore 6 o maior	com	100%	83%	57%	57%	-	-
% de panelistas com score 5 o maior	com	100%	83%	75%	57%	-	-
<i>Critério de abate por tempo de alimentação - 140 dias (n = 102)</i>							
Cluster 1	29	8,1 ^a	6,9 ^b	6,8 ^b	6,8 ^b	0,18	<0,001
Cluster 2	23	7,4 ^a	7,3 ^a	4,1 ^b	6,8 ^a	0,24	<0,001
Cluster 3	24	7,1 ^a	7,4 ^a	4,4 ^b	3,7 ^c	0,23	<0,001
Cluster 4	11	7,2 ^a	3,7 ^b	2,7 ^c	3,1 ^{bc}	0,40	<0,001
Cluster 5	10	5,6	4,3	5,3	4,9	0,36	0,079
% de panelistas com escore 7 o maior	com	90%	48%	0%	0%	-	-
% de panelistas com escore 6 o maior	com	90%	78%	30%	54%	-	-
% de panelistas com escore 5 o maior	com	100%	78%	40%	54%	-	-

^{a,b,c} letras comuns não diferem significativamente pelo teste de t de *Student* ($P \leq 0,05$). C-A: Confinamento com alta taxa de ganho de peso; C-B: Confinamento com baixa taxa de ganho de peso; P-A: Pasto com alta taxa de ganho de peso; P-B: Pasto com baixa taxa de ganho de peso.

No cluster 4 (n=11), os consumidores atribuíram maiores notas para a carne dos animais C-A quando comparado com os outros tratamentos, entretanto a carne do tratamento C-B apresentou maiores valores de aceitação quando comparado ao P-A. além disso, a carne do tratamento P-B não apresentou diferença quando comparado com os tratamentos C-B e

P-A ($P < 0,001$). No cluster 5 ($n=10$), não houve diferença na aceitação geral pelos consumidores quando compararam todos os tratamentos ($P=0,079$). Além disso, foi observado que 90%, 48%, 0% e 0% dos provadores ranquearam a carne dos tratamentos C-A, C-B, P-A e P-B como sete ou maior que 7, enquanto 90%, 78%, 30% e 54% ranquearam como 6 ou maior e 100%, 78%, 40% e 54% ranquearam como 5 ou maior, respectivamente.

2.4. Discussão

2.4.1. Desempenho e características de carcaça

A taxa de crescimento tem um impacto mais pronunciado sobre as características de desempenho, assim como na deposição de carne magra e tecido adiposo em animais terminados em confinamento do que nos animais terminados em pastagem. Uma vez que, maiores pesos, AOL_U, EGS_U e EGP_U foram observados em animais C-A depois de 28 dias de alimentação quando comparado com os animais C-B, e essas diferenças continuaram aumentado até o momento do abate, independentemente do critério de abate utilizado. Assim como, os animais com maiores taxas de crescimento e terminados em confinamento quando abatidos com base no tempo de alimentação apresentaram maiores AOL_C, GRPI e EGS_C. Entretanto, alterações na deposição de tecido magro e de gordura entre animais P-A e P-B foram menos evidenciadas e não foram consistentes ao longo do estudo. Além disso, a taxa de crescimento dos animais terminados a pasto não afetou as características de carcaça (PCQ, RC, GRPI, AOL_C, EGS_C e pH 24h) em ambos os critérios de abate.

Ao comparar os animais C-A e P-B, observou-se aumento de AOL_U, ESG_U, EGP_U, AOL_C, EGS_C, GRPI e RC em animais C-A, principalmente quando abatidos com base no tempo de alimentação. De acordo com Therkildsen et al. (1998), animais alimentados em confinamento apresentam maiores taxas de crescimento e são abatidos mais jovens, independentemente do PV final. Além disso, Frylinck et al. (2013) relataram que animais alimentados a pasto apresentam menores pesos de carcaça do que aqueles alimentados em confinamento, principalmente devido ao fato de que a baixa taxa de crescimento que resulta dos sistemas de terminação a pasto. McIntyre et al. (2009) observaram que animais alimentados em confinamento com alta taxa de crescimento (1,22 kg / d GMD) apresentaram

maior EGS e maiores pontuações de marmoreio do que animais alimentados com pastagem com baixa taxa de crescimento (0,67 kg / d GMD), concluindo que a taxa de crescimento do animal tem um efeito significativo nas características da carcaça. No entanto, no presente estudo, embora os bovinos C-B e P-A apresentaram GMD semelhante, os animais C-B tinham maior crescimento do músculo (AOL_U) e depósitos de gordura (EGS_U , $EGPU$ e $GRPI$), o que indica que a deposição de músculo e gordura é principalmente determinada pelo sistema de alimentação e, em menor proporção, pela taxa de crescimento, embora os efeitos desses fatores nas características da carcaça possam ser cumulativos.

O efeito do sistema de terminação pode estar relacionado ao fato dos animais alimentados em confinamento serem submetidos a uma dieta energética de alta densidade, o que proporciona uma maior disponibilidade de nutrientes, aumentando a produção de propionato no rúmen e conseqüentemente na produção de glicose, os quais estão relacionados à deposição de músculo e gordura (Ladeira et al., 2016; Wicks et al., 2019). Em comparação, a ingestão de nutrientes nos animais alimentados a pasto está frequentemente abaixo das necessidades dos animais para o crescimento máximo, o que afeta o crescimento animal e o tecido magro e a deposição de gordura (Wicks et al., 2019). No presente estudo, os animais alimentados com pasto e abatidos com base no peso tiveram uma queda do peso corporal entre os dias 116 e 134 de alimentação, o que provavelmente levou a perdas ou a falhas na deposição de gordura (EGS_U e $EGPU$) e músculo (AOL_U) durante este tempo. O período de 116 a 214 dias deste estudo compreendeu a época mais crítica da estação seca do ano nos países tropicais (maio a setembro). Nesse período, há escassez de chuvas e redução de horas de sol, o que diminui a produção e a qualidade nutricional da pastagem e, conseqüentemente, os animais perdem peso e gordura corporal em decorrência da mobilização de reservas para manutenção (Ferraz & Felício, 2010; Schutt et al., 2009). Como resultado, animais alimentados a pasto produzem carcaças magras, o que pode afetar o pH e a qualidade final da carne produzida (Page et al., 2001). No presente estudo, animais P-B abatidos com base no tempo de alimentação produziram carne com pH 24h elevado, a qual pode ser classificada como carne escura (*Dark Cutting*) ou escura, firme e seca (*DFD*) ($pH > 6,0$; Ponnampalam et al., 2017). De acordo com Ponnampalam et al. (2017), os consumidores tendem a rejeitar a carne classificada como *Dark Cutting*, pois é percebida como proveniente de animais velhos ou mal manejados e é descrita como sendo menos macia, possuindo um sabor indesejável e

tendo uma vida útil curta. A carne *Dark Cutting* é geralmente associada a uma falta de glicogênio, metabolismo muscular oxidativo e (ou) gordura de carcaça insuficiente (Ponnampalam et al., 2017; Tarrant, 1989; S. Wu et al., 2020). Sendo assim, o desenvolvimento da carne *Dark Cutting* neste estudo em animais P-B, especialmente quando abatidos com base no tempo de alimentação, deve estar relacionado à gordura da carcaça insuficiente e/ou a um aumento no metabolismo muscular oxidativo, uma vez que estes animais não sofreram algum tipo de estresse, pelo menos de um ponto de vista de esforço excessivo. Outros autores relataram um cenário semelhante em que o pH muscular final foi diferente entre os sistemas ou regimes de terminação (Frylinck et al., 2013; Vestergaard et al., 2000). No entanto, Apaoblaza et al. (2020) e Nian et al. (2017) não detectaram essa diferença no pH final.

2.4.2. *Cor da carne*

A carne sem maturação dos animais alimentados em confinamento apresentou valores L^* mais elevados do que aqueles alimentados a pasto, independentemente da taxa de crescimento, o que sugere que a luminosidade da carne é principalmente influenciada pelo regime de alimentação, embora exacerbada pelas maiores diferenças na taxa de crescimento. Em contraste, Purchas et al. (2002) não encontraram nenhuma diferença nos valores de L^* entre as taxas de crescimento alta e baixa, mas isso ocorreu no regime de alimentação baseado principalmente em forragem. As alterações de luminosidade da carne no presente estudo foram atribuídas a três fatores principais: metabolismo muscular, gordura intramuscular e características das células musculares (Hughes et al., 2020; Mancini & Hunt, 2005). Segundo Apaoblaza et al. (2020), animais alimentados a pasto têm um metabolismo muscular mais oxidativo e menores valores de L^* , resultando em carne mais escura quando comparados com animais alimentados em confinamento. Outros argumentam que altos valores de L^* em carnes de animais alimentado em confinamento resultam de maiores pontuações de marmoreio e conteúdo de lipídios do músculo (Mancini & Hunt, 2005; Realini et al., 2004). De fato, a maior deposição de gordura intramuscular altera a estrutura muscular (Nishimura et al., 1999), que é um fator importante na determinação dos atributos acromáticos da cor

magra (Hughes et al., 2020). Assim, o fato de que os animais terminados em confinamento neste estudo possuíam maior gordura intramuscular suporta a última afirmação.

Além disso, quando avaliados os atributos cromáticos da cor da carne sem maturação, animais C-A apresentaram maiores valores de a^* e b^* do que aqueles animais terminados a pasto (P-A e P-B), mas, curiosamente, animais C-B e P-A os quais apresentam semelhança no ganho de peso, não foram diferentes para estas características de cor em nenhum dos dois critérios de abate utilizados, o que pode sugerir que a taxa de crescimento pode ser o principal fator responsável pelas alterações nos atributos cromáticos da cor da carne. Esses resultados podem estar associados a alterações no metabolismo muscular, pois animais com metabolismo energético mais oxidativo podem apresentar carne mais escura (Picard & Gagaoua, 2020). Apaobla et al. (2020) reportaram que animais alimentados a pasto têm um metabolismo muscular mais oxidativo e maior conteúdo de mioglobina do que animais alimentados em confinamento e relacionaram esses achados com a carne escura em animais terminados a pasto. Assim como Duckett et al., (2007); Frylinck et al., (2013) e Vestergaard et al., (2000) apoiam esta noção. Da mesma forma, Davis et al. (1981) relataram que carne de animais confinamento com acesso *ad libitum* à ração produzem uma carne menos escura, quando comparada com animais confinados com acesso restrito a ração ou com animais alimentados a pasto. Assim como também, esses mesmos autores também não relataram diferença para a cor da carne entre animais alimentados a pasto e confinados com GMD semelhante, o qual é consistente com os resultados encontrados no presente estudo.

A taxa de crescimento não afetou a cor da carne de animais alimentados em confinamento abatidos com base no tempo de alimentação, nem nos animais alimentados a pasto, independentemente do critério de abate. No entanto, a taxa de crescimento alterou a cor da carne de animais alimentados em confinamento quando abatidos com base no peso. Especificamente, a carne de animais C-A apresentou maiores valores de L^* , a^* e b^* do que animais C-B. Portanto, o aumento do tempo (112 d) necessário para atingir um peso equivalente ao dos animais C-A impactou na cor da carne dos animais C-B. Embora a razão exata para isso não seja imediatamente evidente, isso pode estar relacionado a mudanças na estrutura e no metabolismo muscular, conforme mencionado anteriormente, ou pode ser relacionado a aumento dos pigmentos da carne devido a um aumento na idade cronológica, o que resulta em carne mais escura (Gil et al., 2001). Por outro lado, a cor da carne observada

dos animais P-B abatidos com base no tempo de alimentação pode estar de alguma forma relacionada à bioquímica conhecida por produzir carne *DFD*. Em geral, a carne *DFD* tem maior capacidade de retenção de água, além de mudanças na estrutura muscular, o que reduz a dispersão de luz e leva a uma aparência escura (Holdstock et al., 2014; Hughes et al., 2017). No entanto, Apaoblaza et al. (2020) argumentou que a carne escura de animais alimentados com pasto nem sempre está recapitulando a bioquímica subjacente a anomalia de *DFD* porque isso é normalmente baseado no estresse pré-abate do animal, novamente, isto não aconteceu no presente estudo.

Por outro lado, além dos fatores *ante mortem*, tais como a taxa de crescimento e regime alimentar, a maturação post mortem também afeta o desenvolvimento da cor da carne. Uma vez que o desenvolvimento e a estabilidade da cor da carne são vulneráveis a mudanças nas características e metabolismo do tecido muscular, tais como pH, tipo de fibra muscular, antioxidantes, atividade redutora de metamioglobina, oxidação de lipídeos, consumo de oxigênio e atividade mitocondrial (Ramanathan & Mancini, 2018; Suman et al., 2014; Suman & Joseph, 2013). No presente estudo, o aumento do tempo de maturação resultou em carne com maiores valores de L^* em todos os tratamentos, independentemente do critério de abate utilizado. Isto pode estar relacionado com alteração da estrutura muscular através do processo de maturação, o qual pode aumentar a luminosidade da carne (Hughes et al., 2017, 2020). No entanto, o efeito da maturação em relação aos atributos cromáticos da cor da carne (a^* e b^*) não foi similar em todos os tratamentos, o que indica que alterações nos valores de intensidade de vermelho e amarelo da cor da carne é afetado pela taxa de crescimento, sistema de alimentação/terminação e a interação destes fatores com o processo de maturação. Dentro do critério de abate com base no peso, o efeito dos tratamentos nos dias 7 e 14 foi semelhante, com apenas algumas pequenas alterações. Entretanto no critério de abate com base no tempo de alimentação, embora o efeito dos tratamentos foi similar em ambos tempos de maturação, menores valores a^* e maiores valores de b^* foram observados em todos os tratamentos quando comparado a carne com 7 e 14 dias de maturação. Segundo Ramanathan & Mancini (2018), o processo de maturação aumenta o desenvolvimento da cor e diminui a estabilidade da cor da carne, pois está relacionado principalmente a menor atividade redutora da metamioglobina e menor consumo de oxigênio. Vários estudos relataram aumento da luminosidade e vermelhidão da carne bovina com o aumento do tempo de maturação, o qual

está relacionado com o metabolismo de cada músculo (Marino et al., 2014; Nair et al., 2018; Ramanathan E Mancini, 2018).

2.4.3. *Maciez da carne*

Em geral, no presente estudo quando avaliada a WBSF em carnes sem maturação, animais alimentados em confinamento produziram mais carne macia do que aqueles alimentados em pasto, independentemente do critério de abate utilizado. Além da taxa de crescimento dentro de cada sistema de terminação não afetar esta característica em carnes sem maturação ou maturadas por 7 e 14 dias. Neste sentido, Allingham, Harper, & Hunter (1998) e Manni, Rinne, Huuskonen, & Huhtanen (2018) também não relataram nenhuma diferença para WBSF entre animais terminados em confinamento com taxas de crescimento diferentes. Portanto, a taxa de crescimento não parece ser o principal fator responsável pelas diferenças na maciez da carne entre animais alimentados em confinamento e a pasto, nem dentro de cada sistema de alimentação, o que está de acordo com os resultados relatados por Brown et al. (2007), que encontraram mais carne macia em animais alimentados em confinamento em comparação com animais alimentados a pasto, independentemente da taxa de crescimento. Além disso, Schutt et al. (2009), Mitchell, Reed e Rogers (1991) e Nuernberg et al. (2005) também observaram carne mais macia em animais alimentados em confinamento em comparação com animais alimentados em pasto. Blank, Russell, Lonergan, & Hansen (2017) relataram que o teor de fibra alimentar pode afetar a maciez da carne ao observar que animais alimentados com dietas mais fibrosas apresentaram maior variação na extensão da degradação de proteína e produziram carne menos macia.

Além do menor teor de fibra na dieta, os animais alimentados em confinamento são submetidos a uma dieta de alta densidade energética, a qual tem sido relacionada à mudança no metabolismo muscular e tipo de fibra, direcionando para um metabolismo mais glicolítico, assim como também com a um metabolismo lipídico mais ativo que leva ao aumento da gordura subcutânea e intramuscular (Frylinck et al., 2013; Vestergaard et al., 2000; Wicks et al., 2019). Neste sentido, tem sido reportado que músculo com um metabolismo mais glicolítico (Dang et al., 2020; Joo et al., 2013; Ouali, 1990), maior gordura intramuscular (Nishimura et al., 1999) e um pH final normal (Wicks et al., 2019) geralmente têm carne

macia. No presente estudo, animais alimentados em confinamento, especialmente C-A, apresentaram maior gordura subcutânea e intramuscular, e pH final normal, o que pode suportar os menores valores de WBSF na carne sem maturação desses animais quando comparados aos animais alimentados a pasto.

Apesar da carne sem maturação de animais alimentados a pasto apresentaram valores de WBSF mais altos do que aqueles alimentados a pasto, não houve diferença entre animais alimentados a pasto e confinados abatidos com base no peso em carnes com 14 dias de maturação. Semelhante foi mostrado por Duckett et al., (2007), Koch et al. (2018) e Nian et al. (2017). No entanto, quando os animais foram abatidos com base no tempo de alimentação, 14 dias de maturação não foram suficientes para que a carne de animais terminados no pasto fosse macia, ou apresentasse similar valor de WBSF quando comparado com animais alimentados em confinamento. Portanto, a maciez da carne e processo de maturação estão relacionados ao ponto ou critério de abate determinado para animais terminados a pasto ou em confinamento. Além disso, a diferença observada no WBSF entre animais alimentados em confinamento e pastagem abatidos com base no tempo de alimentação pode estar relacionado ao pH 24h, o qual foi de 5,59 e 6,04, respectivamente. Segundo Lomiwes et al. (2014) e Wu et al. (2014) carne com pH final de 5,8 <pH> 6,2 promoveu uma taxa mais rápida de degradação da proteína estrutural, enquanto o pH final da carne entre 5,8 e 6,2 promoveu a taxa mais lenta de degradação e, conseqüentemente, maiores valores de WBSF. Wu et al. (2014) afirmaram que pelo menos 21 dias de maturação são necessários para mitigar a diferença em WBSF ao comparar carnes com pH <5,8 e 5,8 <pH <6,2. Contudo, esses dados argumentam que a estratégia ou sistema de alimentação/terminação e critério de abate podem afetar o processo de maturação necessário para garantir a qualidade ideal da carne bovina.

2.4.4. Análise de aceitação sensorial

Em geral, nos consumidores avaliados foi encontrado que a cor e o sabor foram as principais características de qualidade de carne no momento da compra e consumo de carne, respectivamente. Geralmente, a cor tem sido reportada como o atributo de qualidade de carne mais importante no momento da compra do produto, o qual carnes com uma aparência

vermelho cereja brilhante são mais atrativas para os consumidores, uma vez que eles relacionam esta aparência com uma carne mais fresca e de melhor qualidade (SUMAN; JOSEPH, 2013; RAMANATHAN; SUMAN; FAUSTMAN, 2020). Caso contrário ocorre com carnes com uma aparência escura, uma vez que os consumidores relacionam esta cor com uma carne velha e (ou) deteriorada, de pouca qualidade (SUMAN; JOSEPH, 2013; PONNAMPALAM et al., 2017). Neste sentido, é possível que carne de animais produzidas a pasto, as quais apresentam uma aparência mais escura, pode ser menos atrativa no momento da compra quando comparado com carne de animais terminados em confinamento.

Por outro lado, os consumidores reportaram que o sabor é o principal atributo para determinar a qualidade de carne no momento do seu consumo, enquanto a maciez ocupou o segundo lugar. Segundo Muchenje et al. (2009), ambas características são importantes para determinar a qualidade da carne no momento do consumo, entretanto, usualmente a maciez tem sido reportada como a principal característica (BELLO ACEBRÓN; CALVO DOPICO, 2000; MUCHENJE et al., 2009; RODAS-GONZÁLEZ et al., 2009), o que não foi encontrado neste estudo. Segundo Huff Lonergan; Zhang; Lonergan, (2010) alterações na estrutura do musculo, especialmente causada pelo nível de proteólise, pode favorecer a diminuição da força de cisalhamento e conseqüentemente aumentar a maciez da carne. Além disso, embora a correlação entre gordura intramuscular e a força de cisalhamento seja baixa, um aumento na concentração de gordura intramuscular pode favorecer a percepção de maciez por parte do consumidor (JOO et al., 2013). Além disso, aumento na gordura intramuscular está relacionada com maiores valores de sabor por parte dos consumidores (CALKINS; HODGEN, 2007; JOO et al., 2013). Neste sentido, melhores notas de aceitação de carnes de animais terminados em confinamento, principalmente dos animais C-A, podem estar relacionadas a uma menor força de cisalhamento e maior concentração de lipídios totais intramuscular quando comparado com os animais terminados a pasto.

Similares resultados de maior aceitação sensorial em carnes de animais terminados em sistemas de confinamento foram reportados por Davis et al. (1981); Calkins e Hodgen, (2007) e Mezgebo et al. (2017). Além disso, Davis et al. (1981) mostraram que animais alimentados em sistemas de pastagem apresentam menores aceitação sensorial quando comparado com animais alimentados em confinamento similar ganho de peso, similar com o encontrado no presente estudo. Entretanto, Morales et al. (2013) avaliou o efeito do sistema

de terminação e nível de marmoreio sobre a aceitação sensorial da carne, encontrando que consumidores chilenos preferem carne de animais com menor grau de marmoreio e terminados a pasto. Por outro lado, Nuernberg et al. (2005) e Nian et al. (2017) não encontraram diferença nos atributos sensoriais de carnes produzidas a pasto ou em confinamento. Contudo, observa-se na literatura divergência no efeito dos sistemas de terminação sobre os atributos sensoriais, principalmente avaliado por aceitação dos consumidores. Entretanto, isto pode ser explicado pelas condições e característica do animal (sexo, idade, raça, genética, entre outros), tipo de alimentação (tipo e qualidade nutricional da forragem e grãos, além da estação do ano) e consumidor (idade, sexo, entre outros) de cada estudo. Assim como também da localização geográfica na qual foi realizado o estudo uma vez que as características do sistema de alimentação e do animal, assim como as preferencias sensoriais dos consumidores são específicas de cada região e/ou país.

2.5. Conclusão

Tanto o regime / estratégia / sistema de terminação quanto a taxa de crescimento impactaram as características de carcaça afetando a deposição de músculo e gordura, bem como os atributos de qualidade da carne. Além disso, a taxa de crescimento parece ser o principal fator responsável pelas variações nos atributos cromáticos da carne bovina, enquanto o regime de alimentação teve um grande impacto nas diferenças nos atributos acromáticos, na maciez e aceitação sensorial da carne. Em adição, 14 dias de maturação atenuaram as diferenças na maciez da carne entre os sistemas de terminação quando os animais alimentados a pasto foram abatidos com base no peso, independentemente da taxa de crescimento. Por último é importante mencionar que o ponto / critério de abate dentro dos sistemas de alimentação de bovinos de corte podem mudar as características de carcaça e qualidade de carne.

2.6. *Referencias*

AMSA. **Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation, and Instrumental Tenderness Measurements of Meat**. 2. ed. Champaign, Illinois: American Meat Science Association, 2015.

APAOBLAZA, A. et al. Muscle from grass- and grain-fed cattle differs energetically. **Meat Science**, v. 161, p. 107996, 1 mar. 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174019306229>>. Acesso em: 9 dez. 2019.

BELINE, M. et al. Muscle fiber type, postmortem metabolism, and meat quality of Nellore cattle with different post-weaning growth potential. **Livestock Science**, n. July, 2020.

BELLO ACEBRÓN, L.; CALVO DOPICO, D. The importance of intrinsic and extrinsic cues to expected and experienced quality: an empirical application for beef Chaudhuri, A., & Holbrook, M. B. (2001). The Chain of Effects from Brand Trust and Brand Affect to Brand Performance: The Role of Brand Lo. **Food Quality and Preference**, v. 11, n. 3, p. 229–238, 2000.

BENDALL, J. Postmortem changes in muscle. In: BOURNE, G. (Ed.). **Structure and Function of Muscle**, vol. 2. New York: Acad. Press, 1973. p. 234–309.

CALKINS, C. R.; HODGEN, J. M. A fresh look at meat flavor. **Meat Science**, v. 77, n. 1 SPEC. ISS., p. 63–80, 2007.

CHAUHAN, S. S. et al. Glycolysis and pH Decline Terminate Prematurely in Oxidative Muscles despite the Presence of Excess Glycogen. **Meat and Muscle Biology**, 2019.

DAVIS, G. W. et al. Effect of electrical stimulation on carcass quality and meat palatability of beef from forage- and grain-finished steers. **Journal of Animal Science**, v. 53, n. 3, p. 651–657, 1981.

DUNNE, P. G.; MONAHAN, F. J.; MOLONEY, A. P. Current perspectives on the darker beef often reported from extensively-managed cattle: Does physical activity play a significant role? **Livestock Science**, v. 142, n. 1–3, p. 1–22, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2011.06.018>>.

ENGLAND, E. M. et al. Excess glycogen does not resolve high ultimate pH of oxidative muscle. **Meat Science**, v. 114, p. 95–102, 2016.

FERGUSON, D. M.; GERRARD, D. E. Regulation of post-mortem glycolysis in ruminant muscle. **Animal Production Science**, v. 54, n. 4, p. 464–481, 2014.

FRYLINCK, L. et al. Effect of South African beef production systems on post-mortem muscle energy status and meat quality. **Meat Science**, v. 93, n. 4, p. 827–837, 2013. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23305833>>.

HUFF LONERGAN, E.; ZHANG, W.; LONERGAN, S. M. Biochemistry of postmortem muscle - lessons on mechanisms of meat tenderization. **Meat science**, v. 86, n. 1, p. 184–95, set. 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174010001816>>. Acesso em: 6 jun. 2016.

- HUGHES, J. M. et al. Meat color is determined not only by chromatic heme pigments but also by the physical structure and achromatic light scattering properties of the muscle. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 19, n. 1, p. 44–63, 2020.
- JOO, S. T. et al. Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics. **Meat Science**, v. 95, n. 4, p. 828–836, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.044>>.
- KOCH, B. M. et al. Timing of Exposure to High-Concentrates versus High-Quality Forages on Growth and Marbling Deposition in Steers. **Meat and Muscle Biology**, v. 2, n. 1, p. 321–333, 2018.
- KOCH, B. M. et al. Postweaning Exposure to High Concentrates versus Forages Alters Marbling Deposition and Lipid Metabolism in Steers 1. **Meat and Muscle Biology**, v. 3, n. 1, p. 244–253, 2019.
- MANNI, K. et al. Effects of contrasting concentrate feeding strategies on meat quality of growing and finishing dairy bulls offered grass silage and barley based diets. **Meat Science**, v. 143, p. 184–189, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.033>>.
- MATARNEH, S. K. et al. Mitochondrial F₁-ATPase extends glycolysis and pH decline in an in vitro model. **Meat Science**, v. 137, p. 85–91, 2018.
- MATARNEH, S. K. et al. Mitochondria influence glycolytic and tricarboxylic acid cycle metabolism under postmortem simulating conditions. **Meat Science**, v. 172, n. September 2020, p. 108316, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108316>>.
- MATARNEH, S. K.; SILVA, S. L.; GERRARD, D. E. New Insights in Muscle Biology that Alter Meat Quality. **annual reviews**, v. 9, n. 18, p. 1–23, 2020.
- MCGILCHRIST, P. et al. Beef carcasses with larger eye muscle areas, lower ossification scores and improved nutrition have a lower incidence of dark cutting. **Meat Science**, v. 92, n. 4, p. 474–480, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.05.014>>.
- MEZGEBO, G. B. et al. Fatty acid, volatile and sensory characteristics of beef as affected by grass silage or pasture in the bovine diet. **Food Chemistry**, v. 235, p. 86–97, 15 nov. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814617308038?_rdoc=1&_fmt=high&_origin=gateway&_docanchor=&md5=b8429449ccfc9c30159a5f9aeaa92ffb&dgcid=raven_sd_recommender_email>. Acesso em: 24 jul. 2018.
- MORALES, R. et al. Beef acceptability and consumer expectations associated with production systems and marbling. **Food Quality and Preference**, v. 29, n. 2, p. 166–173, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.02.006>>.
- MUCHENJE, V. et al. Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health: A review. **Food Chemistry**, v. 112, n. 2, p. 279–289, 2009.
- MUIR, P. D.; DEAKER, J. M.; BOWN, M. D. Effects of forage - and grain - based feeding systems on beef quality : A review. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 41, n. August, p. 623–635, 1998.

NIAN, Y. et al. The eating quality of beef from young dairy bulls derived from two breed types at three ages from two different production systems. **Irish Journal of Agricultural and Food Research**, v. 56, n. 1, p. 31–44, 2017. Disponível em: <<http://www.degruyter.com/view/j/ijafr.2017.56.issue-1/ijafr-2017-0003/ijafr-2017-0003.xml>>.

NUERNBERG, K. et al. Effect of a grass-based and a concentrate feeding system on meat quality characteristics and fatty acid composition of longissimus muscle in different cattle breeds. **Livestock Production Science**, v. 94, p. 137–147, 2005.

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

PICARD, B.; GAGAOUA, M. Muscle Fiber Properties in Cattle and Their Relationships with Meat Qualities: An Overview. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2020.

PONNAMPALAM, E. N. et al. Causes and Contributing Factors to “Dark Cutting” Meat: Current Trends and Future Directions: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, n. 3, p. 400–430, 2017.

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

RODAS-GONZÁLEZ, A. et al. Establishing tenderness thresholds of Venezuelan beef steaks using consumer and trained sensory panels. **Meat Science**, v. 83, n. 2, p. 218–223, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174009001284>>. Acesso em: 4 maio. 2017.

SCHEFFLER, T. L. et al. Mitochondria influence postmortem metabolism and pH in an in vitro model. **Meat science**, v. 110, p. 118–25, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174015300516>>. Acesso em: 8 jun. 2016.

SCOPES, R. K. Studies with a reconstituted muscle glycolytic system. The rate and extent of glycolysis in simulated post-mortem conditions. **The Biochemical journal**, v. 142, n. 1, p. 79–86, 1974. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1168213&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>>.

SUMAN, S. P.; JOSEPH, P. Myoglobin chemistry and meat color. **Annual review of food science and technology**, v. 4, p. 79–99, 2013. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23190143>>.

TARRANT. Animal Behaviour and Environment in the Dark-Cutting Condition in Beef - A Review. **Irish Journal of Food Science and Technology**, v. 13, n. 1, p. 1–21, 1989. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/10.2307/25580937>>.

THERKILDSEN, M.; VESTERGAARD, M.; JENSEN, LISE RAMSGAARD, HENNING REFSGAARD ANDERSEN, K. S. Effect of Feeding Level, Grazing and Finishing on Growth and Carcass Quality of Young Friesian Bulls. **Acta Agriculture Scandinavica**, v. 48, p. 193–201, 1998.

VESTERGAARD, M.; OKSBJERG, N.; HENCKEL, P. Influence of feeding intensity, grazing and finishing feeding on muscle fibre characteristics and meat colour of semitendinosus, longissimus dorsi and supraspinatus muscles of young bulls. **Meat Science**, v. 54, n. 2, p. 177–185, 2000.

WICKS, J. et al. Muscle Energy Metabolism , Growth , and Meat Quality in Beef Cattle. **Agriculture**, v. 9, n. 9, p. 195, 2019.

WITTENBERG, J. B.; WITTENBERG, B. A. Myoglobin function reassessed. **Journal of Experimental Biology**, v. 206, n. 12, p. 2011–2020, 2003.

3. Capítulo III. Metabolismo post-mortem in vivo e in vitro

3.1. Introdução

A aparência é um dos atributos sensoriais mais importantes que influencia significativamente as percepções dos consumidores sobre a qualidade da carne fresca. Aproximadamente 15% de todos os cortes bovinos no varejo não atendem à expectativa de cor vermelho cereja brilhante desejada pelos consumidores, o que gera grandes prejuízos para a indústria da carne (WICKS et al., 2019; RAMANATHAN; SUMAN; FAUSTMAN, 2020). Assim, compreender o desenvolvimento da cor da carne e, principalmente, entender como os fatores ante e post mortem manipulam esse processo é importante para a indústria da carne e a comunidade científica.

Tem disso bem documentado que os atributos de cor da carne são determinados principalmente pela quantidade e estado da mioglobina (MANCINI; HUNT, 2005; SUMAN; JOSEPH, 2013; RAMANATHAN; SUMAN; FAUSTMAN, 2020; RANJITH RAMANATHAN, MELVIN C. HUNT, RICHARD A. MANCINI, MAHESH N. NAIR, MORGAN L. DENZER, SURENDRANATH P. SUMAN, 2020). A quantidade de mioglobina está intimamente relacionada ao metabolismo muscular, uma vez que a mioglobina é mais abundante em músculos esqueléticos com metabolismo mais oxidativo (fibras do tipo I) do que em músculos com metabolismo mais glicolítico (fibras do tipo IIx) (PICARD; GAGAOUA, 2020; RANJITH RAMANATHAN, MELVIN C. HUNT, RICHARD A. MANCINI, MAHESH N. NAIR, MORGAN L. DENZER, SURENDRANATH P. SUMAN, 2020). Além disso, músculos com metabolismo energético mais glicolítico apresenta maior quantidade de glicogênio, maior flux e capacidade glicolítica, o qual resulta em maior taxa e extensão do decline do pH durante o tempo post mortem, quando comparado com metabolismo energético mais oxidativo (TARRANT, 1989a; FERGUSON; GERRARD, 2014; WICKS et al., 2019). De acordo com Matarneh et al. (2020) alterações no metabolismo muscular, irão ditar o metabolismo post mortem e conseqüentemente as características de qualidade de carne, principalmente o desenvolvimento da cor.

A fibra muscular possui elevada capacidade de plasticidade, adaptando o seu metabolismo às condições que possui e aos requisitos de que necessita (PICARD; GAGAOUA, 2020). Esta característica especial das fibras musculares permite que todos os fatores dentro do sistema de produção tenham influência sobre o metabolismo muscular, e consequentemente o metabolismo post mortem e qualidade de carne. De acordo com Wicks et al. (2019) e Picarde & Gagaoua (2020), sistemas de alimentação, taxa de crescimento, idade e peso de abate, são fatores dentro dos sistemas de produção de carne que exercem um profundo efeito sobre características da fibra muscular, metabolismo post mortem e qualidade de carne. De acordo com Apaoblaza et al. (2020) animais terminados a pasto produzem carne escura, o qual é consequência de um metabolismo energético muscular mais direcionado para a via oxidativa quando comparado com animais terminados em confinamento. Entretanto, os efeitos do sistema de terminação sobre o metabolismo muscular post-mortem e na qualidade da carne podem ser confundidos com os efeitos da taxa de crescimento e critério de abate, uma vez que animais terminados a pasto apresentam menores ganhos de peso e consequentemente são abatidos mais velhos.

Assim, o objetivo deste estudo foi explorar e compreender a relação do sistema de alimentação/terminação, da taxa de crescimento e do critério de abate sobre o metabolismo do músculo, metabolismo muscular e a cor da carne.

3.2. Material e métodos

3.2.1. Animais e tratamentos

Setenta e dois machos castrados cruzados Angus x Nelore (330 ± 30 kg PV, 12 ± 1 mês de idade) foram usados em um delineamento inteiramente casualizado com 4 tratamentos: 1) sistema de confinamento com alta taxa de crescimento (C-A; ganho médio diário [GMD] estimado em 1,5 kg / d); 2) sistema de confinamento com baixa taxa de crescimento (C-B; GMD estimado em 0,9 kg / d); 3) sistema de pastagem com alta taxa de crescimento (P-A; GMD estimado em 0,9 kg / d); e 4) sistema de pastagem com baixa taxa de crescimento (P-B; GMD estimado em 0,6 kg / d). Todos os animais terminados no sistema de confinamento foram alimentados com dieta composta de 80% de concentrado e 20% de

volumoso. Os animais C-A foram alimentados *ad libitum* enquanto os animais C-B tiveram uma restrição alimentar de 30% em comparação ao grupo C-A. Todos os animais terminados no sistema a pasto foram alojados em piquetes de capim-marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), e a taxa de crescimento neste sistema foi controlada principalmente pela taxa de lotação e por suplementação. Além disso, metade dos animais de cada tratamento foram com base no peso (quando atingiu uma média de 530 ± 20 kg de peso corporal), enquanto a outra metade foi abatido com base no tempo de alimentação (quando atingido 140 dias na alimentação). Os critérios de abate de cada animal dentro de cada tratamento foram determinados aleatoriamente no início do estudo.

Nos critérios de abate com base no peso, os animais C-A, C-B, P-A e P-B atingiram o peso corporal de 530 kg após 116, 228, 262 e 292 dias de alimentação e apresentaram um GMD de 1,50; 0,94; 0,75 e 0,62 kg, respectivamente. Enquanto no critério de abate com base no tempo de alimentação, os animais C-A, C-B, P-A e P-B atingiram um peso corporal final de 548, 460, 474 e 429 kg aos 140 dias de alimentação e um GMD de 1,58; 0,85; 0,91 e 0,60 kg/d, respectivamente. Detalhes sobre as práticas de criação, dados de desempenho, carcaça e qualidade da carne estão escritos no capítulo II.

3.2.2. Coleta de amostras

Quando os animais atingiram os critérios de abate pré-definidos, foram abatidos no matadouro da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP, Brasil, de acordo com os procedimentos de abate humanitário exigidos pela legislação brasileira. As amostras foram colhidas do músculo *Longissimus thoracis* (LT) entre a 12^a e 13^a costelas imediatamente após a esfolagem (aproximadamente 10 min após o abate) para a análise de glicólise *in vitro*, e uma segunda amostra foi coletada após 24 h de resfriamento (0 - 2 ° C) para análises de pH da carne, metabólitos, análise de expressão de proteínas por *western blotting*. Todas as amostras foram imediatamente congeladas em nitrogênio líquido e armazenadas a -80 ° C. Amostras de LT de 2,5 cm de espessura de cada carcaça foram coletadas entre a 12^a e 13^a costelas e embaladas a vácuo para posterior análise da cor da carne.

3.2.3. Análises de cor

As amostras foram removidas da embalagem a vácuo e deixadas expostas ao contato com o oxigênio por 30 minutos a 4 ° C a 6 ° C (American Meat Science Association, 2012). A cor da superfície da carne foi avaliada utilizando o sistema CIE Lab (CIE, 1986) com um espectrofotômetro portátil modelo HunterLab MiniScan EZ (Modelo 4500L, Brasil, São Paulo, Brasil) com iluminante padrão D65, ângulo de observação de 10 ° e abertura de 30 mm.

3.2.4. Glicólise *in vitro*

Uma amostra do LT foi coletada 10 min após o abate, identificadas, congeladas em nitrogênio líquido e armazenadas em freezer -80°C. Posteriormente, as amostras foram moídas em nitrogênio líquido e homogeneizadas em uma relação de 100mg/ml em uma solução de glicólise anaeróbica contendo Na 2HPO4 10 mM, MgCl 5 mM, KCl 60 mM, ATP 5 mM, ADP 0,5 mM, NAD+2 0,5 mM, glicogênio 30 mM, carnosina 25 mM, creatina 30 mM e acetato de sódio 10 mM (pH 7,4) (ENGLAND et al., 2014 e 2015). Os tubos foram mantidos a 25°C durante o ensaio. Alíquotas foram coletadas 0, 30, 60 min e 2, 4, 6, 8, 12 e 24 horas para posteriores análises.

3.2.5. Mensuração do pH

Amostras foram coletadas da carcaça após 10 min e 24 horas após o abate de pH foram preparadas usando o método proposto por Bendall (1973) utilizando uma solução de acetato de sódio 25 mM e KCL 750 mM (pH 7,0). As amostras foram centrifugadas a 13.000 rpm por 5 min em temperatura ambiente, equilibradas a 25 ° C e medidas diretamente em um medidor de pH digital portátil (Hanna Instruments - modelo HI99163, São Paulo, Brasil).

Alíquotas foram coletadas na glicólise *in vitro* nos tempos: 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24 horas e foram transferidas para um novo tubo contendo iodo-acetato de sódio 25 mM e KCl 750 mM (pH 7,0). As amostras foram mantidas por cinco minutos a 25°C, e posteriormente

foram centrifugadas a 13.000 rpm por cinco minutos e logo foi será realizada a mensuração do pH.

3.2.5.1. Metabolitos

As análises de metabolitos foram realizadas de acordo com a metodologia proposta por Bergmeyer (1984) e modificada para placas de 96 poços (HAMMELMAN et al., 2003). Para análise de glicogênio, as alíquotas foram coletadas, misturadas em uma proporção de 1:1 com uma solução de HCl 2,5 M, aquecidas a 90°C por duas horas e centrifugadas a 13.000 rpm por 5 minutos. Posteriormente, o sobrenadante foi neutralizado com KOH 1,25 M.

Para as análises de glicose e glicose-6-fosfato (G6P), as alíquotas foram coletadas, adicionadas ao mesmo volume de PCA 1M, incubadas no gelo por 20 minutos e centrifugadas a 13.000 rpm por 5 minutos. Posteriormente, o sobrenadante foi neutralizado com 2M KOH. Todos os metabólitos foram analisados em temperatura ambiente e mensurados com espectrofotômetro Multiscan Go spectrophotometer FI-01620 (ThermoFisher, Vantaa, Finland) em absorbância de 340 nm.

3.2.6. SDS-PAGE e imunotransferência

10 mg de tecido moído do musculo LT (24 h pós-morte) foram diluídas em 1 ml da solução de extração KH₂PO₄-Tris (KH₂PO₄ 20 mM - pH 5,6, tampão Tris 20 mM - pH 7,5 e mistura de inibidores de protease (GE Healthcare Bio-Sciences Corp. EUA)). As amostras foram homogeneizadas vigorosamente usando um vórtice por 1 minuto e incubadas durante a noite a 4 ° C. As amostras foram centrifugadas a 10,000 x g por 10 minutos a 4 ° C, e a concentração de proteína foi determinada em sobrenadantes usando um kit de ensaio BCA de acordo com as recomendações do fabricante (BioRad Laboratories, Hercules, CA, EUA). Todas as amostras foram submetidas a análise de SDS-PAGE usando géis de resolução de acrilamida a 15%. As proteínas separadas foram transferidas para as membranas de PVDF e coradas com Ponceau S para visualizar e quantificar a proteína total em cada banda usando o software Image Studio Lite Ver 5.2. Todas as membranas foram lavadas após o protocolo de coloração com 1x TBS-T (Tris-base 20 mM, NaCl 140 mM, 0,1% tween-20, pH 7,6). Em

seguida, as membranas foram bloqueadas por 1 h em solução de bloqueio (5% de leite sem gordura em TBS-T). As membranas foram então incubadas com anticorpos primários succinato desidrogenase subunidade A (SDH-A; Abcam ab14715 com uma diluição 1: 1000), lactato desidrogenase (LDH-A; Novus Rb 2016 NBP-48336 com uma diluição 1: 30000) mioglobina (Santa Cruz Biotecnologia SC393020 com uma diluição de 1: 1000) e β -actina (Cell Signali 13ES 4970S com uma diluição de 1: 1000). Os anticorpos SDH-A, mioglobina e β -actina foram incubados durante a noite a 4 ° C e o LDH-A foi incubado 1 h em temperatura ambiente. Anticorpos secundários fluorescentes apropriados (biociências LI-COR) foram aplicados a uma diluição de 1: 15.000, incubados por 1 h e lavados por 3 vezes por 5 min cada vez com TBS-T. As imagens das membranas foram adquiridas em uma máquina LI-COR Biosciences Odyssey, e as intensidades foram quantificadas usando o software Image Studio Lite Ver 5.2. O sinal da proteína total foi usado para normalizar o sinal SDH-A e LDH-A, e a β -actina foi usada para normalizar o sinal de mioglobina.

3.2.7. *Análise estatística*

Os dados foram analisados em um delineamento inteiramente casualizado usando o procedimento PROC MIXED do SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC) e cada critério de abate foi analisado separadamente. Os tratamentos foram incluídos como efeitos fixos e animais como unidade experimental. Gráficos de resíduos e a estatística W (Shapiro e Wilk, 1965) foram avaliados para determinar a normalidade para todos os dados, e os outliers foram excluídos. Os metabolitos do sistema in vitro foram analisados como medições repetidas ao longo do tempo. As médias foram calculadas utilizando o procedimento LSMEANS e as médias foram comparadas pelo teste t de *Student*. As diferenças foram consideradas estatisticamente significativas quando $P \leq 0,05$.

3.3. Resultados

Em ambos os critérios de abate, a carne de animais C-A e C-B apresentaram valores L^* ($P < 0,001$; tabela 9) superiores aos dos animais P-A e P-B. Além disso, quando os animais

foram abatidos com base no tempo de alimentação, as carnes de animais C-A tiveram maiores valores de a^* e b^* do que carne de animais P-A e P-B ($P < 0,05$). Carne de animais C-B tiveram maiores valores de b^* quando comparado com carne de animais P-B ($P < 0,05$), porém as carnes de animais C-B e P-A não diferiram para os valores de a^* e b^* . Entretanto, quando os animais foram abatidos com base no peso, carne de animais C-A apresentaram maiores valores de a^* e b^* quando comparado com os outros tratamentos ($P < 0,05$), enquanto carne dos animais C-B, P-A e P-B não diferiram para essas características de cor.

Tabela 9. Médias, erro padrão da média (EPM) e probabilidade ($Pr > F$) do efeito do sistema de terminação e taxa de ganho de peso nas características de cor nos dois critérios de abate.

Característica	Tratamento				EPM	Pr>F
	C-A	C-B	P-A	P-B		
<i>Critério de abate com base no tempo de alimentação (140 dias)</i>						
L^*	40.4 ^a	38.8 ^a	35.4 ^b	34.1 ^b	0.72	<0,001
a^*	17.7 ^a	17.0 ^{ab}	16.2 ^b	15.8 ^b	0.44	0,041
b^*	14.3 ^a	13.5 ^{ab}	12.7 ^{bc}	11.9 ^c	0.41	0,003
<i>Critério de abate com base no peso (530 kg)</i>						
L^*	40.3 ^a	37.0 ^b	35.0 ^c	34.7 ^c	0.74	<0,001
a^*	19.3 ^a	16.9 ^b	16.6 ^b	16.4 ^b	0.50	0,002
b^*	15.9 ^a	12.8 ^b	12.4 ^b	12.2 ^b	0.46	<0,001

^{a,b,c} letras comuns não diferem significativamente pelo teste de t de *Student* ($P \leq 0,05$). C-A= confinamento com alta taxa de crescimento; C-B= confinamento com baixa taxa de crescimento; P-A= pasto com alta taxa de crescimento; P-B= pasto com baixa taxa de crescimento.

Quando os animais foram abatidos com base no tempo de alimentação, animais C-A apresentaram menor pH 24h ($P = 0,005$), maiores concentrações de glicose ($P = 0,006$) e lactato ($P = 0,005$) do que animais P-A e P-B (Tabela 10). Além disso, animais C-B apresentaram menor pH final ($P = 0,011$) e maior concentração de lactato ($P = 0,010$) quando comparado com animais P-B, entretanto animais C-B e P-A não diferiram para essas características. Em adição, animais alimentados em confinamento apresentaram maior potencial glicolítico quando comparados aos animais alimentados em pasto ($P = 0,019$), no entanto não houve diferença nas concentrações de G6P e glicogênio entre os grupos. Entretanto quando os animais foram abatidos com base no peso, não foram encontradas

diferenças no pH final, lactato, glicose e glicogênio entre os tratamentos ($P < 0,05$; Tabela 10), no entanto animais P-B apresentaram menores concentrações de G6P do que os outros tratamentos ($P = 0,049$).

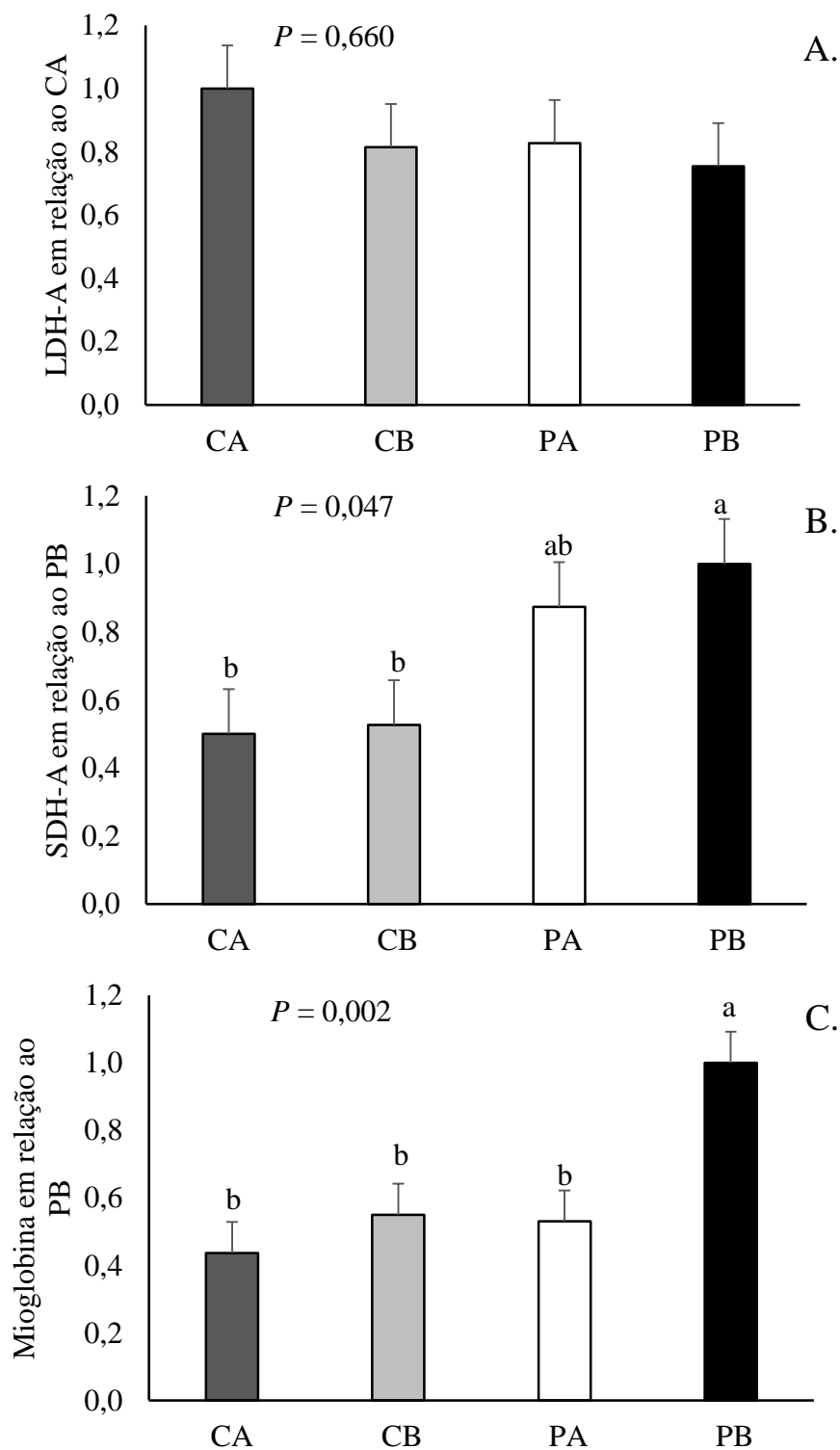
Quando os animais foram abatidos com base no tempo de alimentação, não foi observada diferença para a expressão de LDH-A entre os tratamentos ($P > 0,05$; Fig. 15A). Por outro lado, o músculo de animais P-B teve duas vezes mais expressão de SDH-A do que o músculo dos animais C-A e C-B ($P < 0,05$; Fig. 15B), além de ter duas vezes mais expressão de mioglobina do que outros tratamentos ($P < 0,01$; Fig. 15C). Quando os animais foram abatidos com base no peso, nenhuma diferença foi observada para a expressão da LDH-A nem da SDH-A entre os tratamentos ($P > 0,05$; Fig. 16B). Entretanto, o músculo de animais P-B teve mais de duas vezes a expressão de mioglobina ($P < 0,01$; Fig. 16C) do que aqueles de animais C-A e C-B, enquanto os animais P-A tinham mioglobina semelhante quando comparados a outros tratamentos.

Tabela 10. Média, média do erro padrão (EPM) e probabilidades ($Pr > F$) do efeito do sistema de terminação e taxa de ganho de peso no pH final, metabólitos glicolíticos e potencial glicolítico do músculo *Longissimus* nos dois critérios de abate.

Característica	Tratamento				EPM	Pr>F
	C-A	C-B	P-A	P-B		
<i>Critério de abate com base no tempo de alimentação (140 dias)</i>						
pH final	5,59 ^c	5,72 ^{bc}	5,89 ^{ab}	6,04 ^a	0,09	0,039
Lactato, µmol/g	102,4 ^a	93,1 ^{ab}	83,2 ^{bc}	69,9 ^c	5,75	0,005
Glicose-6-fosfato, µmol/g	6,5	6,1	5,8	4,4	0,62	0,124
Glicose, µmol/g	1,9 ^a	1,4 ^{ab}	1,1 ^b	0,9 ^b	0,19	0,006
Glicogênio, µmol/g	39,5	50,3	39,4	46,9	5,05	0,343
Potencial glicolítico, µmol/g	198,3 ^a	208,7 ^a	175,7 ^b	174,2 ^b	8,33	0,019
<i>Critério de abate com base no peso (530 kg)</i>						
pH final	5,76	5,83	5,86	5,76	0,06	0,693
Lactato, µmol/g	88,2	76,9	82,7	82,7	4,20	0,328
Glicose-6-fosfato, µmol/g	8,7 ^a	8,2 ^a	6,2 ^b	8,2 ^a	0,65	0,049
Glicose, µmol/g	2,0	2,2	1,6	2,3	0,25	0,195
Glicogênio, µmol/g	39,8	35,3	25,2	28,4	5,57	0,292
Potencial glicolítico, µmol/g	189,4	168,4	143,2	160,6	11,08	0,071

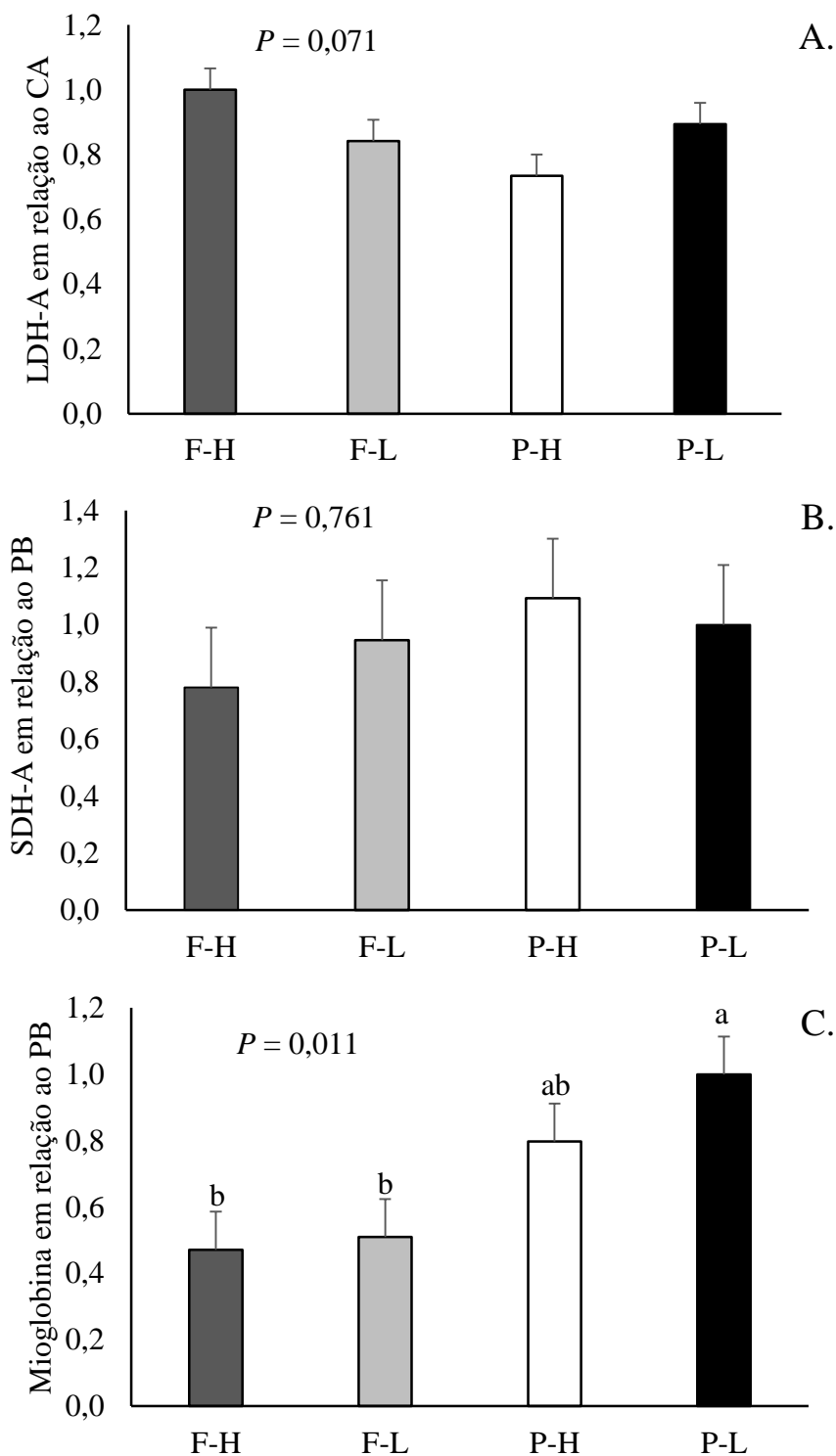
^{a,b,c} letras comuns não diferem significativamente pelo teste de t de *Student* ($P \leq 0,05$). C-A= confinamento com alta taxa de crescimento; C-B= confinamento com baixa taxa de crescimento; P-A= pasto com alta taxa de crescimento; P-B= pasto com baixa taxa de crescimento.

Figura 14. Alteração relativa da expressão por *western blot* da lactato desidrogenase (LDH-A) em relação ao confinamento com alto crescimento (C-A), da succinato desidrogenase (SDH-A) e da mioglobina em relação ao pasto com baixa taxa de crescimento (P-B) quando abatidos com base no tempo de alimentação.



^{a,b,c} letras comuns não diferem significativamente pelo teste de t de Student ($P \leq 0,05$).

Figura 15. Alteração relativa da expressão por *western blot* da lactato desidrogenase (LDH-A) em relação ao confinamento com alto crescimento (C-A), da succinato desidrogenase (SDH-A) e da mioglobina em relação ao pasto com baixa taxa de crescimento (P-B quando abatidos com base no peso).

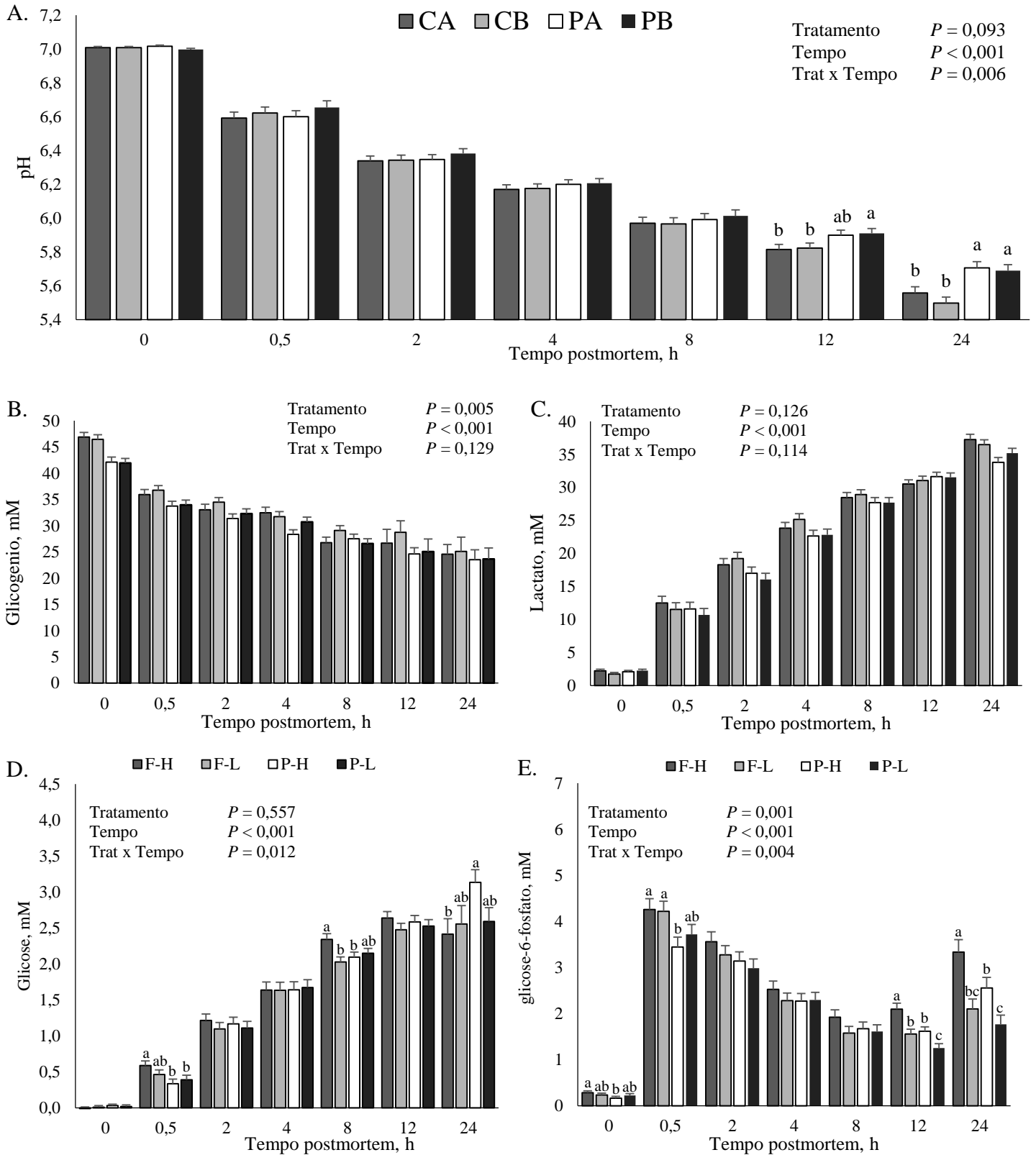


^{a,b,c} letras comuns não diferem significativamente pelo teste de t de Student ($P \leq 0,05$).

Quando avaliado o potencial do musculo para o declive do pH no sistema in vitro nos animais abatidos com base no tempo de alimentação, uma interação tratamento x tempo post mortem foi observada para o pH no sistema de glicólise in vitro ($P = 0,006$; Fig. 17A), no qual não foram observadas diferenças no pH durante as primeiras 8 horas entre os tratamentos. No entanto, às 12, o músculo de animais P-B apresentou um pH mais elevado do que o músculo de animais C-A e C-B ($P < 0,05$), enquanto o músculo P-A não diferiu dos outros grupos. Às 24 h, o músculo dos animais alimentados em confinamento (C-A e C-B) apresentaram menor valor de pH ($P < 0,05$) quando comparado com o músculo de animais alimentados a pasto (P-A e P-B). Além disso, não houve interação entre tratamentos e tempo post mortem para a concentração de glicogênio (Fig. 17B) nem para o lactato (Fig. 17C) no sistema de glicólise in vitro. No entanto, na média geral, a concentração de glicogênio foi maior ($P = 0,005$) no músculo dos animais C-A e C-B (33,2 e 33,0 mM, respectivamente) quando comparado com o musculo dos animais P-A e P-B (30,1 e 30,5 mM, respectivamente).

Além disso, foi observada uma interação entre tratamento x tempo post mortem para a concentração de glicose ($P = 0,012$; figura 17D), no qual o músculo de animais C-A apresentou maior concentração aos 30 min quando comparado com o músculo dos animais P-A e P-B, sem diferença entre C-B, P-A e P-B neste tempo. Além disso, o músculo dos animais C-A apresentou maior concentração quando comparado com os tratamentos C-B e B-A as 8 horas, enquanto o tratamento P-B não diferiu com os outros. Às 24 horas, o músculo de animais P-A apresentou maior concentração de glicose do que o músculo dos animais C-A, enquanto as concentrações nos músculos dos animais C-B e P-B foram semelhantes aos outros grupos. Além disso, foi observada uma interação entre tratamento x tempo pós-morte para a concentração de G6P ($P = 0,004$; Fig. 17E), em que o músculo de animais C-A apresentou uma concentração de G6P maior do que o músculo P-A aos 0 e 30 min do tempo post mortem neste sistema in vitro ($P < 0,05$), enquanto os tratamentos C-B e P-B não diferiram dos outros tratamentos. Porém, às 12 e 24 horas, o músculo de animais C-A apresentou a maior concentração de G6P, seguido pelos músculos dos animais C-B, P-A e P-B.

Figura 16. pH e concentrações de glicogênio, lactato, glicose e glicose-6-fosfato de amostras de músculo Longissimus submetidas a um sistema de glicólise in vitro de animais alimentados a pasto e confinamento com diferentes taxas de ganho de peso abatidos com base no tempo de alimentação.

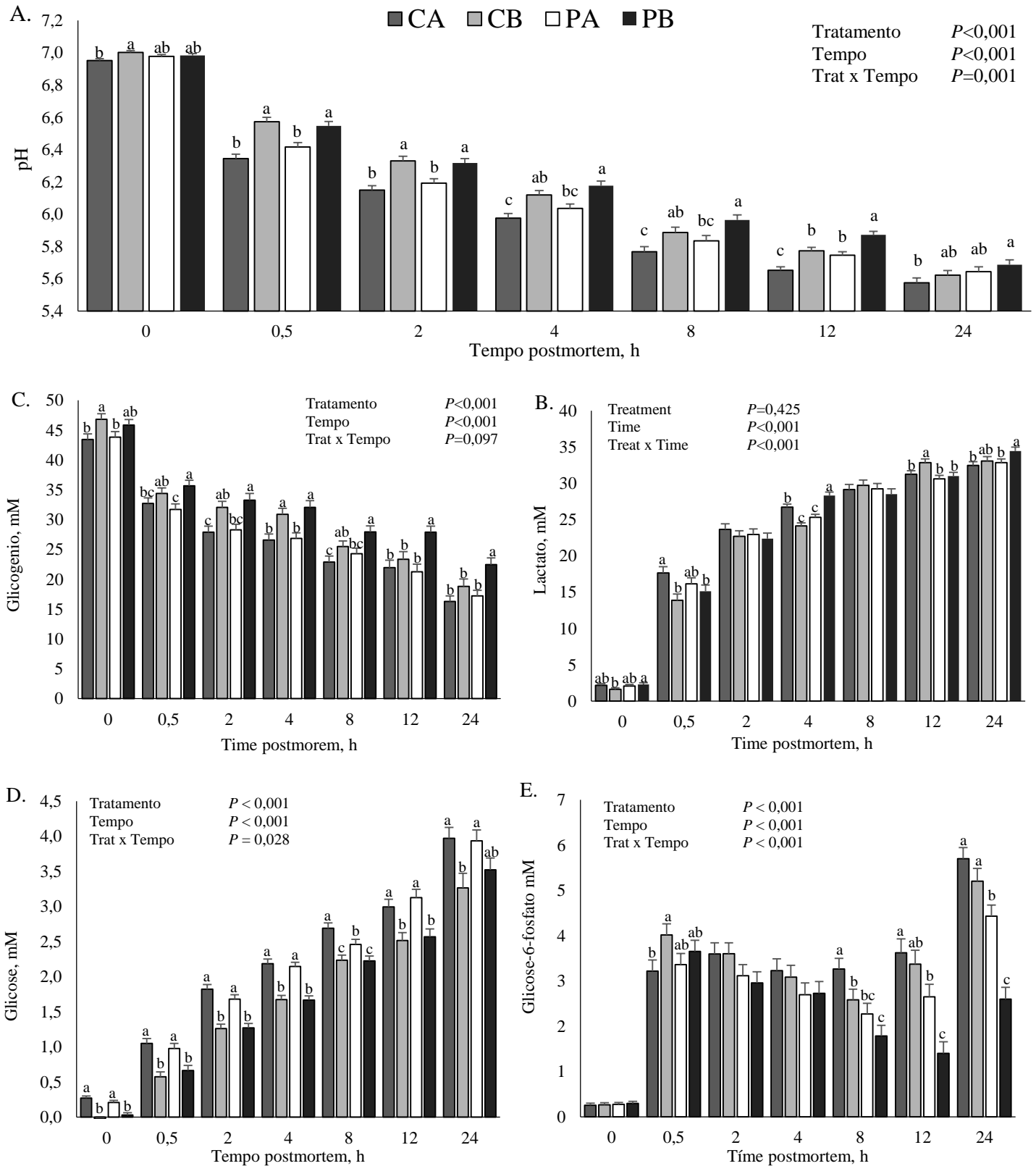


^{a,b,c} Letras diferentes dentro do mesmo tempo diferem entre si, pelo teste t de Student ($P \leq 0,05$).

Por outro lado, quando musculo dos animais abatidos com base no peso foi submetido ao sistema *in vitro*, foi observada uma interação entre tratamento e tempo pós-morte para o pH ($P = 0,001$; Fig. 18A). No qual, no tempo 0 min, o músculo de animais C-A apresentou menor pH quando comparado com o músculo de animais C-B ($P = 0,006$), entretanto nenhuma diferença foi observada entre os outros grupos. Além disso, aos 30 min e 2 h do tempo post mortem, os músculos dos animais C-B e P-B apresentaram maior valor de pH do que os músculos do animais C-A e P-A ($P < 0,05$). Às 4 e 8 h, o músculo de animais P-B apresentaram o pH mais alto do que dos músculos dos animais C-A e P-A ($P < 0,05$), enquanto às 12 h o tratamento P-B e C-A tiveram o pH mais alto e mais baixo, respectivamente, sem diferença entre os tratamentos C-B e P-A. Às 24 h, o músculo dos animais P-B apresentou um pH mais alto do que o músculo dos animais C-A, enquanto o músculo dos animais C-B e P-A não diferiram dos outros tratamentos.

Além disso, foi encontrada uma interação entre tratamento e tempo pós-morte para a concentração de lactato ($P < 0,001$; Fig. 18C). No minuto 0, o músculo dos animais P-B tinha uma maior concentração do que o músculo dos animais C-B, enquanto os tratamentos C-A e P-A não diferiram com os outros. Aos 30 min, os músculos dos animais C-A apresentaram uma concentração de lactato maior do que dos músculos dos animais C-B e P-B ($P < 0,05$), enquanto o tratamento P-B não diferiu com os outros. Às 4 horas, o músculo dos animais P-B apresentou maior concentração de lactato, seguido do músculo dos animais C-A, e o músculo dos animais C-B e P-A apresentou menor concentração ($P < 0,05$). No entanto, não houve diferença para na concentração de lactato nas 2 e 8 h entre os tratamentos. Às 12 h, o músculo dos animais C-B apresentou maior concentração de lactato do que os outros tratamentos ($P < 0,05$). Às 24h, o músculo dos animais P-B tinha maior concentração do que os músculos dos animais C-A e P-A ($P < 0,05$).

Figura 17. pH e concentrações de glicogênio, lactato, glicose e glicose-6-fosfato de amostras de músculo Longissimus submetidas a um sistema de glicólise in vitro de animais alimentados a pasto e confinamento com diferentes taxas de ganho de peso abatidos com base no peso corporal.



^{a,b,c} Letras diferentes dentro do mesmo tempo diferem entre si, pelo teste t de Student ($P \leq 0,05$).

Além disso, foi observada uma tendência a ter uma interação entre os tratamentos e os tempos avaliados na degradação de glicogênio ($P = 0,097$; Fig. 18B). No minuto 0, o músculo dos animais C-B teve maior concentração de glicogênio do que o músculo dos animais C-A e P-A ($P < 0,05$), enquanto o músculo dos P-B não diferiu com os outros grupos. De 30 min a 8 h de tempo post mortem neste sistema in vitro, o músculo dos animais P-B apresentou a maior concentração de glicogênio do que o músculo dos animais C-A e P-A ($P < 0,05$). Da mesma forma, o músculo P-B teve maior glicogênio do que os outros grupos em 12 e 24 h ($P < 0,05$). Além disso, foi observada uma interação entre os tratamento e tempo pós-morte para a concentração de glicose ($P = 0,028$; Fig. 18D) e de G6P ($P < 0,001$; Fig. 18E). Os músculos dos animais C-A e P-A apresentaram maior concentração de glicose do que os animais C-B e P-B na maioria dos tempos avaliados, exceto às 24 h, que o tratamento P-B não foi diferente quando comparado com os outros grupos. Por outro lado, aos 30 min, o músculo dos animais C-B apresentou maior concentração de G6P do que o músculo dos animais C-A, enquanto o tratamento P-A e P-B não diferiram com os outros tratamentos. De 8 a 24 horas, o músculo dos animais C-A apresentou maior concentração de G6P do que o musculo dos animais P-B, enquanto apenas às 24 horas o músculo dos animais C-B apresentou maior concentração de G6P do que o músculo dos animais P-A.

3.4. Discussão

No presente estudo, os animais foram terminados em confinamento e a pasto, e dentro de cada sistema de terminação foram estipuladas duas taxas de crescimento e dois critérios de abate, com o objetivo de eliminar o confundimento da diferença de taxa de crescimento, idade e peso de abate. Contudo, nas condições deste estudo, quando comparado os sistemas de terminação tradicionais (com diferença na taxa de crescimento), foi encontrado que carne de animais P-B apresentam menores valores de L^* , a^* e b^* quando comparado com a carne de animais C-A em ambos critérios de abate, indicando que independentemente da diferença na idade ou peso no abate, animais terminados em sistema tradicional a pasto (com baixo ganho de peso – P-B) apresentam carne mais escura quando comprado com animais terminados em sistema tradicional de confinamento (com alto ganho de peso – C-A), similar como reportado anteriormente por Vestergaard et al. (2000), Frylinck et al. (2013) e

Apaoblaza et al., (2020), estudos no qual os animais foram abatidos com base no peso. Geralmente, a carne escura em animais terminados a pasto esta atribuída a alterações no metabolismo muscular e *post mortem* (WICKS et al., 2019; APAOBLAZA et al., 2020), sendo algumas vezes relacionadas com o fenômeno de carnes *DFD* (pH > 6.0) (DUNNE; MONAHAN; MOLONEY, 2011; PONNAMPALAM et al., 2017). O desenvolvimento deste fenômeno está atribuído a falhas no decline do pH por insuficiente glicogênio muscular no momento do abate, principalmente relacionado a depreciação deste substrato causado por algum estresse pré-abate (TARRANT, 1989; PONNAMPALAM et al., 2017). De acordo com a revisão de Ferguson & Gerrard (2014), o valor limiar do glicogênio muscular no momento do abate deve estar entre 45-55 $\mu\text{mol/g}$ para poder atingir um pH final normal. Dunne et al. (2011) reportou que bovinos produzidos em sistema de pastagem podem ser mais suscetíveis a desenvolver carnes *DFD* devido a uma menor ingestão de energia e a menor habituação ao contato e manejo humano, conseqüentemente, apresentando menor armazenamento de glicogênio no musculo e maior susceptibilidade a um estresse pré-abate, respectivamente.

No presente estudo, quando os animais foram abatidos com base no tempo de alimentação, animais P-B desenvolveram carnes *DFD*, apresentando uma cor escura, maior valor de pH e menor concentração de lactato quando comparado com animais terminados em confinamento (C-A e C-B). Entretanto, o desenvolvimento deste fenômeno não foi relacionado a depreciação ou insuficiente glicogênio causado por algum estresse, uma vez que os animais não sofreram nenhum tipo de estresse antes do abate. Os resultados do glicogênio residual pode suportar esta afirmação, no qual animais P-B apresentaram aproximadamente 47 $\mu\text{mol/g}$ de glicogênio residual, o qual está acima do valor mínimo de glicogênio inicial reportado por Ferguson & Gerrard (2014) para atingir um pH normal. Além disso, não houve diferença no glicogênio residual entre os tratamentos, indicando uma vez mais que a concentração de glicogênio no musculo não foi o fator determinante para o desenvolvimento de carnes *DFD* nos animais P-B. De acordo com McGilchrist et al. (2012) e Page et al. (2001), carcaças leves e com escassa gordura subcutânea produzem carnes *DFD*, causado por um rápido resfriamento da carcaça afetando o decline normal do pH durante o post mortem. Neste sentido, indica-se que o desenvolvimento de carnes *DFD* em animais P-B abatidos com base no tempo de alimentação esta principalmente relacionado com a falta

de acabamento e carcaças leves (Gomez et al. em revisão – Capítulo II). Quando animais foram abatidos com base no peso, não houve diferença no peso de carcaça, área de olho de lombo, espessura de gordura subcutânea (Gómez et al. em revisão – Capítulo II), pH final, lactato, glicose, G6P, glicogênio nem no potencial glicolítico entre animais C-A e P-B, entretanto animais P-B apresentaram menores valores de L*, a* e b*. Indicando que nem sempre a cor escura de animais terminados a pasto está relacionada com o desenvolvimento de carnes DFD, assim como reportado anteriormente por Apaoblaza et al. (2020).

A cor da carne é influenciada pelo metabolismo muscular e o metabolismo post mortem, principalmente pela quantidade e estado redox da mioglobina, e a taxa e extensão do decline do pH, respectivamente (WICKS et al., 2019; MATARNEH; SILVA; GERRARD, 2020; RAMANATHAN; SUMAN; FAUSTMAN, 2020). A mioglobina é uma proteína heme-sarcoplasmática, a qual tem como função no músculo vivo o armazenamento e entrega de oxigênio às mitocôndrias, permitindo que o tecido mantenha suas funções fisiológicas (WITTENBERG; WITTENBERG, 2003). Enquanto no post mortem, a mioglobina é considerada o principal pigmento responsável pela cor da carne, uma vez que o desenvolvimento e estabilidade da cor da carne depende da abundância e estado redox desta proteína (SUMAN; JOSEPH, 2013; RAMANATHAN; SUMAN; FAUSTMAN, 2020). A mioglobina é mais abundante em músculos com um metabolismo energético oxidativo, os quais apresentam maior proporção de fibras musculares tipo I, além de apresentar uma cor escura quando comparado com músculos glicolíticos (SUMAN; JOSEPH, 2013; WICKS et al., 2019; RAMANATHAN; SUMAN; FAUSTMAN, 2020). Por outro lado, a taxa e extensão do decline do pH são dois principais fatores que determinam a qualidade da carne (MATARNEH; SILVA; GERRARD, 2020), principalmente a cor. O decline do pH está ditado pelo metabolismo energético do músculo, no qual músculo com metabolismo oxidativo apresentam uma menor taxa e extensão do decline do pH, ainda com excesso de glicogênio, quando comparado com músculos glicolíticos (ENGLAND et al., 2016; WICKS et al., 2019; MATARNEH; SILVA; GERRARD, 2020).

De acordo com Apaoblaza et al. (2020) e Vestergaard et al. (2000), animais terminados a pasto produziram uma carne mais escura por apresentar um metabolismo mais oxidativo quando comparado com animais terminados em confinamento, uma vez que animais terminados a pasto apresentaram o dobro de expressão de mioglobina e SDH-A,

enquanto animais terminados em confinamento apresentaram 35% e 20% a mais de abundância da LDH-A e GAPDH, respectivamente (APAOBLAZA et al., 2020). Embora no presente estudo animais P-B apresentaram uma menor abundância da LDH-A de 25% e 10% do que animais C-A quando abatidos com base no tempo de alimentação e peso, respectivamente, não foi encontrada uma diferença estatisticamente significativa. Entretanto, animais P-B apresentaram duas vezes mais expressão de SDH-A quando abatidos com base em um tempo de alimentação, além de apresentar duas vezes mais expressão de mioglobina em ambos critérios de abate quando comparado com animais CA, indicando um metabolismo energético muscular mais oxidativo em animais P-B quando comparado com animais C-A, o que explica as diferenças na cor da carne e suporta as afirmações anteriormente realizadas por Apaoblaza et al. (2020) e Vestergaard et al. (2000).

Além disso, foi utilizado o sistema *in vitro* proposto por Scopes (1974) para simular a glicólise, este sistema foi utilizado inicialmente para entender os mecanismos que controlam a glicólise e queda do pH durante o tempo *post mortem* (SCOPES, 1974). Posteriormente, foi utilizado para criar um modelo dos fatores que controlam a queda do pH (SCHEFFLER et al., 2015; MATARNEH et al., 2018, 2021), além de explorar o potencial para realizar o declínio do pH de diferentes músculos de várias espécies de animais de produção (ENGLAND et al., 2016; CHAUHAN et al., 2019), e recentemente tem sido utilizado músculo de bovinos submetidos a diferentes tratamentos para explorar o potencial de realizar a glicólise, e avaliar a taxa e extensão da queda do pH (APAOBLAZA et al., 2020; BELINE et al., 2020). No presente estudo, foram encontradas claras diferenças na taxa e extensão do declínio do pH entre animais C-A e P-B em ambos os critérios de abate. Quando animais foram abatidos com base no tempo de alimentação, animais C-A apresentaram menores valores de pH e maiores concentrações de G6P as 12h e 24h de *post mortem*, e maior concentração de glicogênio em geral quando comparado com animais P-B, sem apresentar diferença na concentração de lactato. Enquanto no critério de abate com base no peso, músculo de animais C-A e P-B não apresentaram diferenças no pH, lactato, G6P e glicogênio no tempo 0h, entretanto após este período animais C-A apresentaram maior degradação de glicogênio, menores valores de pH e maiores concentrações de glicose, além de maiores concentrações de G6P após 8 horas *post mortem*. Contudo, esses resultados mostram que animais C-A apresentam uma maior extensão do declínio do pH em ambos os critérios de

abate, além de uma maior taxa de decline do pH principalmente no critério de abate com base no peso, quando comparado com animais P-B.

Chauhan et al. (2019), explorou o potencial do declino do pH de músculos glicolíticos e oxidativo de diferentes espécies de animais de produção, entre elas bovinos, utilizando o sistema *in vitro*. Eles reportaram que músculos glicolíticos apresentam uma maior degradação de glicogênio, maior acúmulo de metabolitos e menores valores de pH, resultando uma maior taxa e extensão do decline do pH quando comparado com músculos oxidativos. Isto suporta as nossas afirmações de que músculos de animais P-B apresentam um metabolismo mais oxidativo, o que resulta em uma carne mais escura quando comparado com animais C-A. Além disso, é importante destacar que embora animais C-A apresentaram menor pH as 24h neste sistema *in vitro* quando comparado com animais P-B, estes últimos apresentaram um pH final de 5.7 em ambos critérios de abate, o que sugere que musculo de animais terminados a pasto tem potencial para atingir um pH final normal na carcaça, independentemente do critério de abate, assim como observado na carcaça de animais abatidos com base no peso. Isto suporta a nossa afirmação de que a falta de acabamento e carcaças leves de animais P-B abatidos com base no tempo de alimentação, causaram um rápido resfriamento da carcaça, impedindo a acidificação normal do musculo, ainda com glicogênio muscular disponível.

Por outro lado, para explorar principalmente o efeito do regime de alimentação e excluindo o efeito de taxa de crescimento, foram comparados animais C-B e P-A, os quais pertencem a diferente sistema de terminação com similar ganho de peso. Encontrando que em ambos os critérios de abate, animais C-B apresentam maiores valores de L^* do que animais P-A, porém não foram encontradas diferença nos valores de a^* e b^* entre eles. Isto indica que independentemente da diferença da idade ou peso de abate entre animais terminados a pasto e em confinamento, a alteração na luminosidade da cor da carne é principalmente determinada pelo regime de alimentação, enquanto os atributos cromáticos são influenciados pela taxa de crescimento. De acordo com Hughes et al. (2020), a luminosidade da carne esta principalmente determinada por alterações na estrutura muscular, a qual determina a absorção e dispersão da luz. Enquanto os atributos cromáticos da cor da carne são principalmente influenciados por alterações no metabolismo do musculo, principalmente relacionado a abundância da mioglobina (HUGHES et al., 2020;

MATARNEH; SILVA; GERRARD, 2020). Nesse sentido, foi encontrado que animais C-B e P-A em ambos os critérios de abate apresentaram uma semelhança na expressão da mioglobina e das enzimas LDH-a e SDH-a, bem como nas concentrações dos metabolitos e pH final da carcaça. Assim como também no sistema *in vitro*, foi observado uma semelhança no declino do pH, degradação de glicogênio e acúmulo de metabolitos entre estes tratamentos, principalmente no critério de abate por tempo de alimentação. No critério de abate por peso, foi observado que animais P-A apresentaram menor pH e maior degradação do glicogênio durante as primeiras 4 horas do tempo post mortem, entretanto após este período não houve diferenças na degradação de glicogênio nem no pH quando comparado com animais C-B. Indicando que animais P-A apresentaram uma maior taxa de decline durante as primeiras 4 horas, entretanto não houve diferença na extensão do decline do pH as 24h entre estes tratamentos. Contudo, embora foram encontradas pequenas diferenças no sistema *in vitro* entre animais C-B e P-A, em geral os resultados indicam que estes dois grupos apresentam semelhança no metabolismo muscular, no metabolismo post mortem e na abundância da mioglobina, o qual suporta a não diferença nos valores de a^* e b^* da cor da carne entre estes tratamentos.

Além disso, no presente estudo foi possível explorar o efeito da taxa de crescimento dentro dos sistemas de terminação, no qual está não afetou o pH final da carne, nem a maioria dos metabolitos avaliados na carcaça, nem a expressão da LDH-a e SDH-a normalizadas dentro dos sistemas de terminação em ambos os critérios de abate. Assim como também, no sistema *in vitro* foi observado que a taxa de crescimento dentro de cada sistema de terminação não alterou o decline do pH, nem a degradação de glicogênio, nem o acúmulo de metabolitos quando os animais foram abatidos com base no tempo de alimentação. Indicando que a taxa de ganho não teve um efeito pronunciado sobre a taxa e extensão do decline do pH, nem no desenvolvimento da cor dentro do mesmo sistema de terminação quando os animais foram abatidos com o mesmo tempo de alimentação. Entretanto, quando os animais foram abatidos com base no peso, a taxa de crescimento, dentro de ambos os sistemas de terminação, alterou a degradação de glicogênio e acúmulo de glicose e G6P, resultando uma maior taxa de declino do pH nos animais com maior taxa de crescimento (C-A e P-A), indicando que estes animais apresentam um metabolismo muscular mais direcionado para a via glicolítica do que animais com baixa taxa de crescimento (C-B e P-B).

Embora a taxa de crescimento alterou o metabolismo *post mortem* dentro dos dois sistemas de terminação, foi observado apenas no sistema de terminação em confinamento alterações na cor da carne, no qual animais C-A apresentaram maiores valores de L^* , a^* e b^* quando comparado com animais C-B. Isto sugere que animais com menores taxas de ganho no confinamento apresentam uma carne mais escura por apresentar um metabolismo energético mais oxidativo relacionado ao incremento do tempo de alimentação para atingir um peso determinado de abate, e conseqüentemente apresentam incremento da idade no abate (aproximadamente 4 meses). Além disso, possivelmente a taxa de crescimento não alterou características de cor no sistema de termina a pasto devido ao pouco tempo de diferença na idade de abate (aproximadamente 1 mês). De acordo com Manni et al. (2018), animais abatidos mais velhos apresentam uma carne mais escura quando comparado com animais abatidos mais novos. Além disso, também tem sido reportado que animais com menores ou limitadas taxas de crescimento apresentam um metabolismo energético mais direcionado para a via oxidativo (WICKS et al., 2019; PICARD; GAGAOUA, 2020).

3.5. Conclusões

Animais terminados a pasto tem potencial para atingir um pH final da carne normal, independente da taxa de crescimento ou critério de abate. Entretanto, pode-se sugerir que músculo de animais terminados a pasto apresentam uma menor taxa e extensão do decline do pH, causada por um metabolismo muscular mais oxidativo e/ou carcaças leves com falta de acabamento, em vez de estar relacionado com algum estresse pré-abate ou falta de glicogênio muscular.

Além disso, a taxa de crescimento aparenta ser o principal fator responsável pelas diferenças nos atributos cromáticos da cor da carne entre animais terminados a pasto e em confinamento, uma vez que está altera o metabolismo muscular e metabolismo *post mortem*. Por ultimo, a aparência escura de carnes produzidas em sistemas a pasto não deve ser considerada um defeito ou critério de baixa qualidade, pois está apenas é uma característica particular deste sistema atribuída a um metabolismo energético muscular mais oxidativo.

3.6. *Referencias*

AMSA. **Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation, and Instrumental Tenderness Measurements of Meat**. 2. ed. Champaign, Illinois: American Meat Science Association, 2015.

APAOBLAZA, A. et al. Muscle from grass- and grain-fed cattle differs energetically. **Meat Science**, v. 161, p. 107996, 1 mar. 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174019306229>>. Acesso em: 9 dez. 2019.

BELINE, M. et al. Muscle fiber type, postmortem metabolism, and meat quality of Nellore cattle with different post-weaning growth potential. **Livestock Science**, n. July, 2020.

BELLO ACEBRÓN, L.; CALVO DOPICO, D. The importance of intrinsic and extrinsic cues to expected and experienced quality: an empirical application for beef Chaudhuri, A., & Holbrook, M. B. (2001). The Chain of Effects from Brand Trust and Brand Affect to Brand Performance: The Role of Brand Lo. **Food Quality and Preference**, v. 11, n. 3, p. 229–238, 2000.

BENDALL, J. Postmortem changes in muscle. In: BOURNE, G. (Ed.). **Structure and Function of Muscle**, vol. 2. New York: Acad. Press, 1973. p. 234–309.

CALKINS, C. R.; HODGEN, J. M. A fresh look at meat flavor. **Meat Science**, v. 77, n. 1 SPEC. ISS., p. 63–80, 2007.

CHAUHAN, S. S. et al. Glycolysis and pH Decline Terminate Prematurely in Oxidative Muscles despite the Presence of Excess Glycogen. **Meat and Muscle Biology**, 2019.

DAVIS, G. W. et al. Effect of electrical stimulation on carcass quality and meat palatability of beef from forage- and grain-finished steers. **Journal of Animal Science**, v. 53, n. 3, p. 651–657, 1981.

DUNNE, P. G.; MONAHAN, F. J.; MOLONEY, A. P. Current perspectives on the darker beef often reported from extensively-managed cattle: Does physical activity play a significant role? **Livestock Science**, v. 142, n. 1–3, p. 1–22, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2011.06.018>>.

ENGLAND, E. M. et al. Excess glycogen does not resolve high ultimate pH of oxidative muscle. **Meat Science**, v. 114, p. 95–102, 2016.

FERGUSON, D. M.; GERRARD, D. E. Regulation of post-mortem glycolysis in ruminant muscle. **Animal Production Science**, v. 54, n. 4, p. 464–481, 2014.

FRYLINCK, L. et al. Effect of South African beef production systems on post-mortem muscle energy status and meat quality. **Meat Science**, v. 93, n. 4, p. 827–837, 2013. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23305833>>.

HUFF LONERGAN, E.; ZHANG, W.; LONERGAN, S. M. Biochemistry of postmortem muscle - lessons on mechanisms of meat tenderization. **Meat science**, v. 86, n. 1, p. 184–95, set. 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174010001816>>. Acesso em: 6 jun. 2016.

HUGHES, J. M. et al. Meat color is determined not only by chromatic heme pigments but also by the physical structure and achromatic light scattering properties of the muscle. **Comprehensive**

Reviews in Food Science and Food Safety, v. 19, n. 1, p. 44–63, 2020.

JOO, S. T. et al. Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics. **Meat Science**, v. 95, n. 4, p. 828–836, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.044>>.

KOCH, B. M. et al. Timing of Exposure to High-Concentrates versus High- Quality Forages on Growth and Marbling Deposition in Steers. **Meat and Muscle Biology**, v. 2, n. 1, p. 321–333, 2018.

KOCH, B. M. et al. Postweaning Exposure to High Concentrates versus Forages Alters Marbling Deposition and Lipid Metabolism in Steers 1. **Meat and Muscle Biology**, v. 3, n. 1, p. 244–253, 2019.

MANNI, K. et al. Effects of contrasting concentrate feeding strategies on meat quality of growing and finishing dairy bulls offered grass silage and barley based diets. **Meat Science**, v. 143, p. 184–189, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.033>>.

MATARNEH, S. K. et al. Mitochondrial F₁-ATPase extends glycolysis and pH decline in an in vitro model. **Meat Science**, v. 137, p. 85–91, 2018.

MATARNEH, S. K. et al. Mitochondria influence glycolytic and tricarboxylic acid cycle metabolism under postmortem simulating conditions. **Meat Science**, v. 172, n. September 2020, p. 108316, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108316>>.

MATARNEH, S. K.; SILVA, S. L.; GERRARD, D. E. New Insights in Muscle Biology that Alter Meat Quality. **annual reviews**, v. 9, n. 18, p. 1–23, 2020.

MCGILCHRIST, P. et al. Beef carcasses with larger eye muscle areas, lower ossification scores and improved nutrition have a lower incidence of dark cutting. **Meat Science**, v. 92, n. 4, p. 474–480, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.05.014>>.

MEZGEBO, G. B. et al. Fatty acid, volatile and sensory characteristics of beef as affected by grass silage or pasture in the bovine diet. **Food Chemistry**, v. 235, p. 86–97, 15 nov. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814617308038?_rdoc=1&_fmt=high&_origin=gateway&_docanchor=&md5=b8429449ccfc9c30159a5f9aeaa92ffb&dgcid=raven_sd_recommender_email>. Acesso em: 24 jul. 2018.

MORALES, R. et al. Beef acceptability and consumer expectations associated with production systems and marbling. **Food Quality and Preference**, v. 29, n. 2, p. 166–173, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.02.006>>.

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

MUIR, P. D.; DEAKER, J. M.; BOWN, M. D. Effects of forage - and grain - based feeding systems on beef quality : A review. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 41, n. August, p. 623–635, 1998.

NIAN, Y. et al. The eating quality of beef from young dairy bulls derived from two breed types at

three ages from two different production systems. **Irish Journal of Agricultural and Food Research**, v. 56, n. 1, p. 31–44, 2017. Disponível em: <<http://www.degruyter.com/view/j/ijafr.2017.56.issue-1/ijafr-2017-0003/ijafr-2017-0003.xml>>.

NUERNBERG, K. et al. Effect of a grass-based and a concentrate feeding system on meat quality characteristics and fatty acid composition of longissimus muscle in different cattle breeds. **Livestock Production Science**, v. 94, p. 137–147, 2005.

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

PICARD, B.; GAGAOUA, M. Muscle Fiber Properties in Cattle and Their Relationships with Meat Qualities: An Overview. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2020.

PONNAMPALAM, E. N. et al. Causes and Contributing Factors to “Dark Cutting” Meat: Current Trends and Future Directions: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, n. 3, p. 400–430, 2017.

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

RODAS-GONZÁLEZ, A. et al. Establishing tenderness thresholds of Venezuelan beef steaks using consumer and trained sensory panels. **Meat Science**, v. 83, n. 2, p. 218–223, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174009001284>>. Acesso em: 4 maio. 2017.

SCHEFFLER, T. L. et al. Mitochondria influence postmortem metabolism and pH in an in vitro model. **Meat science**, v. 110, p. 118–25, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174015300516>>. Acesso em: 8 jun. 2016.

SCOPES, R. K. Studies with a reconstituted muscle glycolytic system. The rate and extent of glycolysis in simulated post-mortem conditions. **The Biochemical journal**, v. 142, n. 1, p. 79–86, 1974. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1168213&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>>.

SUMAN, S. P.; JOSEPH, P. Myoglobin chemistry and meat color. **Annual review of food science and technology**, v. 4, p. 79–99, 2013. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23190143>>.

TARRANT. Animal Behaviour and Environment in the Dark-Cutting Condition in Beef - A Review. **Irish Journal of Food Science and Technology**, v. 13, n. 1, p. 1–21, 1989. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/10.2307/25580937>>.

THERKILDSEN, M.; VESTERGAARD, M.; JENSEN, LISE RAMSGAARD, HENNING REFGAARD ANDERSEN, K. S. Effect of Feeding Level , Grazing and Finishing on Growth and Carcass Quality of Young Friesian Bulls. **Acta Agriculture Scandinavica**, v. 48, p. 193–201, 1998.

VESTERGAARD, M.; OKSBJERG, N.; HENCKEL, P. Influence of feeding intensity, grazing and finishing feeding on muscle fibre characteristics and meat colour of semitendinosus, longissimus

dorsi and supraspinatus muscles of young bulls. **Meat Science**, v. 54, n. 2, p. 177–185, 2000.

WICKS, J. et al. Muscle Energy Metabolism , Growth , and Meat Quality in Beef Cattle. **Agriculture**, v. 9, n. 9, p. 195, 2019.

WITTENBERG, J. B.; WITTENBERG, B. A. Myoglobin function reassessed. **Journal of Experimental Biology**, v. 206, n. 12, p. 2011–2020, 2003.