

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITOS DA SUPLEMENTAÇÃO COM SAIS DE CÁLCIO DE
ÓLEO DE SOJA EM NOVILHAS NELORE DURANTE OS
TERÇOS MÉDIO E FINAL DA GESTAÇÃO SOBRE O
DESEMPENHO E QUALIDADE DA CARNE DA PROGÊNIE**

Aline Naime Rodrigues

Zootecnista

2024

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITOS DA SUPLEMENTAÇÃO COM SAIS DE CÁLCIO DE
ÓLEO DE SOJA EM NOVILHAS NELORE DURANTE OS
TERÇOS MÉDIO E FINAL DA GESTAÇÃO SOBRE O
DESEMPENHO E QUALIDADE DA CARNE DA PROGÊNIE**

Discente: Aline Naime Rodrigues

Orientador: Prof. Dr. Flávio Dutra de Resende

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Zootecnia

R696e Rodrigues, Aline Naime
Efeitos da suplementação com sais de cálcio de óleo de soja em novilhas Nelore durante os terços médio e final da gestação sobre o desempenho e qualidade da carne da progênie / Aline Naime Rodrigues. -- Jaboticabal, 2024
102 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Flávio Dutra de Resende

1. Zootecnia. 2. Produção animal. 3. Bovinos. 4. Criação. 5. Programação fetal. I. Título.

Impacto potencial desta pesquisa

Conforme a portaria Unesp nº 117, de 21 de dezembro de 2022

Esta pesquisa demonstra como a manutenção da nutrição materna durante o período gestacional pode impactar a vida futura da progênie. A suplementação materna com sais de cálcio de óleo de soja, fonte de ácidos graxos poli-insaturados ômega 6, durante a gestação pode causar alterações positivas no desenvolvimento fetal que persistirão em sua vida do nascimento ao abate. Essa estratégia fornece um valioso recurso para um sistema de produção mais rentável e eficiente, haja visto que produz animais com desempenho superior em um mesmo espaço de tempo. Ao melhorar a eficiência e o ganho de peso, menos recursos são necessários para produzir a mesma quantidade de carne, o que significa uma menor pressão sobre o meio ambiente.

Da mesma forma, essa pesquisa abre portas para uma pecuária mais tecnificada e consciente das necessidades nutricionais tanto das matrizes quanto da progênie, focando não apenas no aumento da produtividade, mas também na qualidade do produto e na redução dos impactos ambientais. Com a crescente pressão por práticas mais sustentáveis na agropecuária, a adoção de estratégias nutricionais como a suplementação com sais de cálcio de óleo de soja pode ser uma ferramenta importante para balancear eficiência produtiva e responsabilidade ambiental, atendendo à demanda global por carne bovina de maneira mais responsável e eficiente.

Potential impact of this research

According to Unesp ordinance No. 117, dated December 21, 2022

This research demonstrates how maintaining maternal nutrition during pregnancy can impact the future life of the offspring. Maternal supplementation with calcium salts from soybean oil, a source of omega-6 polyunsaturated fatty acids, during pregnancy can cause positive changes in fetal development that will persist throughout the life of the offspring from birth to slaughter. This strategy provides a valuable resource for a more profitable and efficient production system, since it produces animals with superior performance in the same space of time. By improving efficiency and weight gain, fewer resources are needed to produce the same amount of meat, which means less pressure on the environment.

In the same way, this research opens the door to a more technologically advanced livestock farming system that is aware of the nutritional needs of both the mothers and the offspring, focusing not only on increasing productivity, but also on product quality and reducing environmental impacts. With increasing pressure for more sustainable practices in agriculture, the adoption of nutritional strategies such as supplementation with calcium salts from soybean oil can be an important tool for balancing production efficiency and environmental responsibility, meeting the global demand for beef in a more responsible and efficient manner.

TÍTULO DA TESE: EFEITOS DA SUPLEMENTAÇÃO COM SAIS DE CÁLCIO DE ÓLEO DE SOJA EM NOVILHAS NELORE DURANTE OS TERÇOS MÉDIO E FINAL DA GESTAÇÃO SOBRE O DESEMPENHO E QUALIDADE DA CARNE DA PROGÊNIE

AUTORA: ALINE NAIME RODRIGUES


ORIENTADOR: FLÁVIO DUTRA DE RESENDE

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Zootecnia, pela Comissão Examinadora:


Pesquisador Dr. FLÁVIO DUTRA DE RESENDE (Participação Virtual)
Departamento de Descentralização do Desenvolvimento / APTA ColinaSP

Documento assinado digitalmente
 **FLAVIO DUTRA DE RESENDE**
Data: 11/11/2024 17:26:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Profa.Dra. IVANNA MORAES DE OLIVEIRA (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / Faculdades Associadas de Uberaba (FAZU) - Uberaba/MG


Documento assinado digitalmente
 **IVANNA MORAES DE OLIVEIRA BENATTI**
Data: 13/11/2024 10:26:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. RODRIGO DA SILVA MARQUES (Participação Virtual)
Departamento de Ciência Animal / Virginia Tech - Blacksburg/VA

Documento assinado digitalmente
 **RODRIGO DA SILVA MARQUES**
Data: 12/11/2024 15:54:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. SAULO DA LUZ E SILVA (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / FZEA USP Pirassununga/SP

Documento assinado digitalmente
 **SAULO DA LUZ E SILVA**
Data: 12/11/2024 15:36:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. MIGUEL HENRIQUE DE ALMEIDA SANTANA (Participação Virtual) 

Documento assinado digitalmente
MIGUEL HENRIQUE DE ALMEIDA SANTANA
Data: 11/11/2024 17:42:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jaboticabal, 11 de novembro de 2024

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Aline Naime Rodrigues, nascida em 03 de março de 1994, Pará de Minas, Minas Gerais. Filha de Selma Guimarães da Silva Naime Rodrigues e Edmar Naime Rodrigues, do lar e produtor rural, respectivamente. Ingressou no curso de Zootecnia na Universidade Federal de Viçosa, *campus* Viçosa em março de 2012, onde atuou no grupo GEFOR e em iniciações científicas, sob orientação do professor Dr. Odilon Gomes Pereira (2013 – 2015). De março de 2015 a setembro de 2016, participou do Programa de Desenvolvimento da Pecuária Leiteira (PDPL), onde fornecia assistência a produtores de leite nos âmbitos práticos, zootécnicos e econômicos. Graduiu-se em Zootecnia em janeiro de 2017. Em agosto de 2017 ingressou no Mestrado em Zootecnia, pela Universidade Federal de Viçosa, *campus* Viçosa, sob orientação do Prof. Dr. Edenio Detmann. Concluiu o mestrado em julho de 2019. Em agosto de 2020, iniciou o doutorado pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – *campus* Jaboticabal, FCAV/UNESP, no programa de Pós-Graduação em Ciência Animal sob orientação do Prof. Dr. Flávio Dutra de Resende na área de Nutrição e Produção de Ruminantes. Durante o doutorado realizou período de internacionalização de agosto a dezembro de 2023 na Montana State University, em Bozeman, Montana, EUA, e de janeiro de 2024 a março de 2024 na Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia Tech, Blacksburg, Virginia, EUA, auxiliando na condução de projetos sob orientação do professor Dr. Rodrigo Marques.

“As grandes conquistas não são feitas por impulso, mas por uma soma de pequenas vitórias.”

Vincent Van Gogh

DEDICO

À Deus, aos meus pais, ao meu irmão, à
minha irmã e às minhas tias!

OFEREÇO

Aos queridos amigos que estiveram comigo
ao longo dessa trajetória!

AGRADECIMENTOS

À Deus, à minha mãe Selma Guimarães da Silva Naime Rodrigues e meu pai Edmar Naime Rodrigues, por serem meu alicerce e exemplo de perseverança, carinho e amor.

Aos meus irmãos Juninho e Bruna. Com vocês sei que nunca estarei sozinha.

Às minhas tias, Edmaura, Elaine, Eleni e Eliana, por todo apoio, compreensão e presenças constantes em minha vida.

Aos amigos Cris Luana, Érica, William, Thaís e Tadeu, pelas conversas jogadas fora e auxílio na pesquisa.

À Universidade Estadual Paulista (FCAV/Jaboticabal) pela oportunidade de realização de mais uma etapa da minha formação profissional.

Ao Polo Regional Alta Mogiana (APTA de Colina), por ter sido meu lar durante esses anos. E por me proporcionar toda estrutura e colaboradores necessários para a realização deste trabalho.

Em especial aos meus amigos e companheiros de experimento, Amanda e Keuven, pela parceria durante todas as fases desse experimento e dos tantos outros que conduzimos juntos. Sem vocês não teria chegado aonde cheguei. Muito obrigada!

Aos meus companheiros de Hospedaria, pela amizade, longas conversas, momentos de descontração e companhia durante essa caminhada.

Ao professor Rodrigo Marques por todo o apoio, conversas e direcionamentos durante a minha internacionalização.

Ao meu orientador, professor Dr. Flávio Dutra de Resende e ao professor Dr. Gustavo Rezende Siqueira, por confiarem o projeto a mim e por todos os ensinamentos ao longo desta jornada.

Aos integrantes e ex-integrantes da pós-graduação da APTA, Anna Lidia, Ariane, Bianca, Fernanda R., Fernanda S., Gabriel, Gilyard, Henrique, Hiam, Igor,

Iorrano, Irene, José Maria, Karla, Laylles, Luciana, Luis Henrique, Mailza, Mariana, Mateus, Saulo.

Ao estagiário Gustavo Bisio pela ajuda ao longo da condução do experimento.

Aos colaboradores da APTA Colina, Toinzinho, Lori, Sr. Chico, Roberto, Luizinho, Rogério, Sueli, Néia, Juninho, Antônio Carlos, Denilson, Miltinho, Toga, Regina e todos os outros, sempre dispostos a ajudar.

À empresa Vaccinar, pela parceria e apoio financeiro. Além das empresas Lageado, Zoetis, CRV Lagoa e DGT Brasil que, por meio de parcerias, permitiram também condições para a execução deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida durante o período do Doutorado.

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

Sumário


CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Programação Fetal	3
2.2. Sais de cálcio de óleo de soja na programação fetal.....	5
2.3. Desenvolvimento do tecido muscular esquelético	6
2.4. Desenvolvimento do tecido fibro-adipogênico e o metabolismo lipídico	10
2.5. Efeitos epigenéticos da programação fetal	15
2.6. Efeitos da nutrição materna sobre as características de carcaça e de qualidade da carne da progênie	18
3. REFERÊNCIAS	19
CAPÍTULO 2 - EFEITOS DA SUPLEMENTAÇÃO COM SAIS DE CÁLCIO DE ÓLEO DE SOJA EM NOVILHAS NELORE DURANTE OS TERÇOS MÉDIO E FINAL DA GESTAÇÃO SOBRE O DESEMPENHO DA PROGÊNIE	29
1. INTRODUÇÃO	31
2. MATERIAL E MÉTODOS	32
2.1. Localização e Clima	32
2.2. Tratamentos.....	33
2.3. Fase de recria	36
2.4. Fase de terminação	41
2.5. Avaliação do desempenho animal	43
2.6. Ultrassonografia de carcaça	43
2.7. Coleta de Sangue	44
2.8. Biópsia de músculo e expressão gênica	44
2.9. Abates e características de carcaça	47
2.10. Mensurações na carcaça	47
2.11. Análises químicas	48
2.12. Análises estatísticas	49
3. RESULTADOS	50
3.1. Fase de recria	50

3.2. Fase de terminação	56
4. DISCUSSÃO	65
4.1. Fase de recria	65
4.2. Fase de Terminação	67
5. IMPLICAÇÕES PRÁTICAS	73
6. CONCLUSÃO	74
7. REFERÊNCIAS	75
CAPÍTULO 3 - EFEITOS DA SUPLEMENTAÇÃO COM SAIS DE CÁLCIO DE	
ÓLEO DE SOJA EM NOVILHAS NELORE DURANTE OS TERÇOS MÉDIO E FINAL	
DA GESTAÇÃO SOBRE A QUALIDADE DA CARNE DA PROGÊNIE	
83	
1. INTRODUÇÃO	85
2. MATERIAL E MÉTODOS	86
2.1. Localização e Clima	86
2.2. Caracterização da área experimental, animais, manejo alimentar e tratamentos	86
2.3. Mensuração do pH na carcaça	87
2.4. Composição química e qualidade da carne	87
2.5. Análises químicas	89
2.6. Análises estatísticas	89
3. RESULTADOS	90
4. DISCUSSÃO	93
5. IMPLICAÇÕES PRÁTICAS	96
6. CONCLUSÃO	97
7. REFERÊNCIAS	98

CERTIFICADO Nº 0008/2020 - CEUA

Certificamos que o projeto apresentado dia nove de setembro de 2020 intitulado: "EFEITO DA SUPLEMENTAÇÃO COM GORDURA PROTEGIDA DE OLEO DE SOJA DURANTE A GESTAÇÃO SOBRE O DESEMPENHO PRODUTIVO E REPRODUTIVO DE PRIMÍPARAS PRECOSES DA RAÇA NELORE E SUAS PROLES", registrado com o Protocolo nº 0008/2020, sob a responsabilidade do Pesquisador Científico **Flávio Dutra de Resende**, que envolve a produção, a manutenção e a utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto humanos), para fins de pesquisa científica, encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de oito de outubro de 2008; do decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009; e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi **APROVADO** pela **Comissão de Ética no Uso de Animais do Departamento de Descentralização do Desenvolvimento (CEUA-DDD)**, na X Reunião Ordinária realizada no dia 16 de setembro de 2020.

Finalidade: (X) Pesquisa científica – () Ensino	
Vigência da autorização	01/12/2020 a 31/08/2023
Especie/linhagem e/ou raça	Bovinos Nelore
Nº de animais	172
Sexo	F (129) / M (43)
Localização	Polo Regional Alta Mogiana - Colina / DDD / APTA / SAA - SP
Responsável Técnico	Dr. Gustavo Rezende Siqueira


 Maria Izabel Merino de Medeiros
 Coordenadora CEUA-DDD



Comissão de Ética no Uso de Animais
 Departamento de Descentralização do
 Desenvolvimento CEUA - DDD
 Av. Rodrigues Alves, 40-40
 CEP: 17030-000, Bauru, SP
 Telefone: (14) 3203-3257- Ramal 24
 E-mail: medeiros@apta.sp.gov.br



Secretaria de
 Agricultura e Abastecimento

Agência Paulista de
 Tecnologia dos Agronegócios

EFEITOS DA SUPLEMENTAÇÃO COM SAIS DE CÁLCIO DE ÓLEO DE SOJA EM NOVILHAS NELORE DURANTE OS TERÇOS MÉDIO E FINAL DA GESTAÇÃO SOBRE O DESEMPENHO E QUALIDADE DA CARNE DA PROGÊNIE

RESUMO GERAL – A suplementação com sais de cálcio de óleo de soja durante a gestação tem por objetivo fornecer ácidos graxos poli-insaturados protegidos da degradação ruminal, além de proporcionar adensamento energético da dieta. Durante a gestação, o adensamento energético da dieta é de grande importância devido à redução no consumo materno no terço final causado pelo crescimento fetal. Adicionalmente, os ácidos graxos poli-insaturados têm potencial de melhorar o desempenho futuro da progênie e a qualidade de sua carne por meio da modulação gênica e fenotípica. Para estudar os efeitos da suplementação materna com sais de cálcio de óleo de soja sobre a vida futura da progênie, após o nascimento os bezerros foram submetidos à semelhantes manejos e planos nutricionais. Este estudo objetivou avaliar o desempenho e a qualidade da carne da progênie de novilhas suplementadas sem sais de cálcio de óleo de soja (SSCOS) ou com sais de cálcio de óleo de soja (CSCOS) durante os terços médio e final da gestação. O total de 82 novilhas Nelore prenhes [$385 \pm 49,0$ kg de peso corporal (PC)] que emprenharam aos 14 e 24 meses e inseminadas por meio de inseminação artificial em tempo fixo (IATF) com sêmen do mesmo touro, foram designadas para este experimento aos 123 ± 13 dias de gestação. O delineamento foi em blocos casualizados e o PC inicial das novilhas foi utilizado como critério de blocagem. Todas as novilhas foram suplementadas, e os tratamentos consistiram no fornecimento de suplemento na quantidade de 3 g/kg do PC com adição de sais de cálcio de óleo de soja (SCOS) ou não, com 41 repetições por tratamento. Do parto até o desmame, todas as novilhas receberam suplemento SSCOS a 3 g/kg do PC. Após o desmame, 48 bezerros (24 fêmeas e 24 machos) foram selecionados para compor as fases de recria e terminação. Durante a fase de recria todos os animais receberam o mesmo suplemento na quantidade de 10 g/kg de PC e foram recriados por 252 dias em uma área composta pela forrageira *Urochloa brizantha* cv. Marandu. Ao final da fase de recria, os animais foram transferidos para o confinamento onde passaram pela fase de terminação. As fêmeas foram confinadas por 70 dias e os machos por 98 dias. Durante esta fase, ambos os sexos receberam a mesma dieta *ad libitum*. A progênie de novilhas suplementadas CSCOS foi 13,3 kg mais pesada ($P = 0,05$) e apresentou uma carcaça 10 kg mais pesada ($P = 0,01$) ao final da terminação em relação à progênie de novilhas SSCOS. A progênie CSCOS apresentou superiores ganho de peso médio diário (GMD) ($P = 0,03$) e consumo de matéria seca (CMS) ($P = 0,02$) em relação à progênie de novilhas suplementadas SSCOS ao longo da terminação. Maior área de olho de lombo (AOL) ($P = 0,01$) foi observada na progênie de novilhas CSCOS. Machos de novilhas CSCOS apresentaram maior marmoreio ($P = 0,05$) e maior expressão de mTOR ($P = 0,01$). A suplementação materna com SCOS afetou o pH na carcaça ($P = 0,04$) da progênie macho 24 horas após o abate e a perda por descongelamento ($P = 0,02$) no bife da progênie fêmea. Assim, a suplementação materna com sais de cálcio de óleo de soja durante os terços médio e final da gestação influencia o desempenho pós-desmame e a qualidade da carne da progênie criada em um sistema de produção intensivo.

Palavras-chave: ácidos graxos poli-insaturados, carcaça, expressão gênica, programação fetal, progênie.

EFFECTS OF SUPPLEMENTATION WITH CALCIUM SALTS FROM SOYBEAN OIL IN NELLORE HEIFERS DURING THE MIDDLE AND LATE THIRD OF GESTATION ON PERFORMANCE AND MEAT QUALITY OF THE OFFSPRING

GENERAL ABSTRACT - Supplementation with calcium salts from soybean oil during gestation aims to provide polyunsaturated fatty acids protected from ruminal manipulation, in addition to providing energy density to the diet. During gestation, increasing dietary energy is of great importance due to the reduction in maternal intake in the final third caused by fetal growth. In addition, polyunsaturated fatty acids have the potential to improve the future performance of the progeny and the quality of their meat through genetic and phenotypic modulation. To study the effects of maternal supplementation with soybean oil calcium salts on the future life of the progeny, after birth the calves were subjected to similar management and nutritional plans. This study aims to evaluate the performance and meat quality of the progeny of heifers supplemented without soybean oil calcium salts (SSCOS) or with soybean oil calcium salts (CSCOS) during the middle and final thirds of gestation. A total of 82 pregnant Nellore heifers [385 ± 49.0 kg body weight (BW)] that became pregnant at 14 and 24 months and were inseminated by fixed-time artificial insemination (FTAI) with semen from the same bull were assigned to this experiment at 123 ± 13 days of gestation. The design was randomized blocks, and the initial BW of the new heifers was used as blocking stratification. All new heifers were supplemented, and the treatments consisted of the complete supplement in the amount of 3 g/kg BW with or without addition of soybean oil calcium salts (SCOS), with 41 replicates per treatment. From calving to weaning, all new heifers received SSCOS supplement at 3 g/kg BW. After weaning, 48 calves (24 females and 24 males) were selected to compose the growth and finishing phases. During a growth phase, all animals received the same supplement at a rate of 10 g/kg BW and were reared for 252 days in an area composed of the forage *Urochloa brizantha* cv. Marandu. At the end of the growth phase, the animals were transferred to the feedlot where they underwent the finishing phase. females were confined for 70 days and males for 98 days. During this phase, both sexes received the same diet ad libitum. The progeny of heifers supplemented with CSCOS were 13.3 kg heavier ($P = 0.05$) and had a carcass 10 kg heavier ($P = 0.01$) at the end of the finishing phase compared to the progeny of SSCOS heifers. CSCOS progeny showed higher average daily weight gain (ADG) ($P = 0.03$) and dry matter intake (DMI) ($P = 0.02$) compared to progeny of heifers supplemented with SSCOS throughout finishing. Larger loin eye area (LEA) ($P = 0.01$) was observed in progeny of CSCOS heifers. Males of CSCOS heifers showed greater marbling ($P = 0.05$) and higher mTOR expression ($P = 0.01$). Maternal supplementation with SCOS affected carcass pH ($P = 0.04$) of male progeny 24 h after slaughter and purge loss ($P = 0.02$) in steak of female progeny. Thus, maternal supplementation with calcium salts from soybean oil during the middle and final thirds of gestation influences post-weaning performance and meat quality of progeny raised in an intensive production system.

Keywords: carcass, gene expression, fetal programming, polyunsaturated fatty acid, progeny.

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, os sistemas de produção de carne bovina caracterizam-se pelo uso quase que exclusivo de pastagens (Millen & Arrigoni, 2013). A estacionalidade da produção de forragem do Brasil tropical é definida por duas estações: seca e águas, as quais são intercaladas por períodos de transição (seca-águas e águas-seca). Este fenômeno provoca um desequilíbrio entre suprimento e demanda de forragem (Paulino et al., 2004). Fato este explicado pela incapacidade das forrageiras tropicais, mesmo no período chuvoso, de produzir por muito tempo, alimento com qualidade que possibilite o atendimento das exigências para crescimento e produção animal (Reis et al., 2009). Durante o período seco, além da redução na quantidade de matéria seca produzida, há decréscimo acentuado em sua qualidade nutricional, sendo observados baixos teores proteicos e elevadas concentrações de fibra insolúvel em detergente neutro indigestível (Roth et al., 2017). Além disso, esse período pode ser considerado o mais crítico do ano para o sistema de produção, uma vez que coincide com a janela de oportunidade para manutenção do escore de condição corporal (ECC) da fêmea, visto que as exigências nutricionais desta encontram-se reduzidas (Gionbelli et al., 2016). A manutenção da condição corporal da fêmea pode impactar nos índices reprodutivos do rebanho, e.g. taxa de prenhez, afetando a produção de bezerros na estação reprodutiva subsequente.

O desafio imposto pela estação seca do ano é mais agravante para as novilhas gestantes comparado às vacas adultas, uma vez que além dos requerimentos inerentes à gestação *per se*, como a manutenção de anexos placentários e o crescimento fetal, há requerimento adicional para crescimento corporal dessas fêmeas que ainda não atingiram o peso adulto (Ferrell et al., 1976; Micke et al., 2010). Segundo Short et al. (1976), em fêmeas ruminantes a partição de nutrientes durante a gestação segue a seguinte ordem: 1) manutenção, 2) atividades físicas, 3) crescimento, 4) reservas energéticas basais, 5) manutenção da gestação, 6) lactação, 7) reservas energéticas adicionais, 8) ciclos estrais e início da gestação e 9) reservas excedentes de energia. Adicionalmente, há considerável redução no consumo de matéria seca no terço final da gestação, em virtude dos efeitos fisiológicos,

metabólicos, comportamentais e físicos resultante da compressão do rúmen pelo útero (Gionbelli et al., 2016). Portanto, estratégias nutricionais que permitam elevar a concentração energética da dieta ofertada às fêmeas nesta fase poderiam apresentar efeito benéfico para o atendimento dos requerimentos das novilhas prenhes e em crescimento.

O estágio fetal é de suma importância para o desenvolvimento do músculo esquelético, uma vez que não há aumento no número de fibras musculares após o nascimento (Zhu et al., 2004; Du et al., 2011), desta forma, a manutenção da nutrição materna ao longo da gestação pode impactar o crescimento muscular da progênie e conseqüentemente o seu desempenho futuro. Além disso, o desenvolvimento de órgãos vitais tem maior prioridade na partição de nutrientes do que o músculo esquelético, o que torna o tecido muscular mais suscetível às variações da nutrição materna durante a prenhez (Funston et al., 2010; Bohnert et al., 2013). Apesar das células adiposas crescerem em número e tamanho durante os períodos fetal e pós-natal [até 250 dias após o nascimento em bovinos (Du et al., 2009)], a alteração da deposição de gordura no animal na vida pós-natal pode ser alterada pela nutrição materna durante o período gestacional (Ladeira et al., 2016).

O impacto que a nutrição materna pode causar ao feto e à vida futura da prole vêm sendo estudado ao longo dos últimos anos (Rodrigues et al., 2020; Izquierdo et al., 2022; Nascimento et al., 2022; Serwatka et al., 2023). No entanto, há limitados estudos que avaliaram os efeitos da suplementação de fêmeas bovinas com ácidos graxos poli-insaturados durante a gestação sobre o desempenho da progênie ao longo de toda sua vida produtiva e qualidade de sua carne (Marques et al., 2017; Brandão et al., 2020; Shao et al., 2021). Marques et al. (2017) e Brandão et al. (2020) encontraram ganhos de peso expressivos em carcaça ao final da terminação na progênie de vacas suplementadas com ácidos graxos poli-insaturados. Ao contrário, Shao et al. (2021) não encontraram diferenças significativas no ganho em carcaça da progênie de vacas suplementadas com ácidos graxos poli-insaturados durante o terço final da gestação, apesar desta progênie apresentar maior relação ganho:consumo durante a fase de terminação. Entretanto, esses estudos utilizaram vacas multíparas taurinas durante o terço final da gestação, tornando-se oportuno estudos que avaliem os efeitos da suplementação de primíparas zebuínas, visto que há escassez de

pesquisas que avaliaram animais com genética *Bos indicus* (zebuínos) (Moriel et al., 2021).

Diante disso, torna-se relevante a condução de estudos que avaliem o crescimento e mecanismos fisiológicos da progênie de fêmeas de primeira cria suplementadas com ácidos graxos poli-insaturados durante os terços médio e final da gestação em condições tropicais e genética zebuína. Portanto, objetivou-se com este estudo avaliar os efeitos da suplementação com sais de cálcio de óleo de soja em novilhas Nelore durante os terços médio e final da gestação sobre o desempenho, características de carcaça, parâmetros sanguíneos e qualidade da carne da progênie criada em sistema de produção intensivo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Programação Fetal

Define-se programação fetal como a capacidade do ambiente intra-uterino de responder a estímulos específicos durante uma fase crítica de desenvolvimento, modificando qualitativa e/ou quantitativamente o curso do desenvolvimento e gerando efeitos persistentes no fenótipo da descendência (Nathanielsz et al., 2007; Reynolds et al., 2019). Alterações na nutrição fetal resultam em adaptações do desenvolvimento fetal que alteram permanentemente a estrutura, a fisiologia e o metabolismo, predispondo a progênie à distúrbios metabólicos, como doenças cardiovasculares, metabólicas e endócrinas na vida adulta (Barker, 2004; Du et al., 2011). Estudos entre os anos 1950 e 1970 foram conduzidos com animais de produção a fim de entender como a nutrição pré-natal poderia afetar o crescimento e desenvolvimento da prole (Short, 1955; Taplin e Everitt, 1964). Nestes estudos, cordeiros de ovelhas submetidas à subnutrição pré-natal apresentaram menores peso corporal ao nascimento e ganho de peso médio diário quando comparados à cordeiros de ovelhas bem nutridas.

Perturbações no ambiente uterino durante a gestação podem impactar o feto de forma positiva ou negativa, visto que o desenvolvimento de seus órgãos ocorre durante o terço inicial da gestação e o desenvolvimento dos tecidos muscular e adiposo durante os terços médio e final, podendo o tecido adiposo se desenvolver até 250 dias após o nascimento (Du et al., 2010). O impacto dessas perturbações a nível

fetal pode ser relacionado à modulação epigenética, a qual pode ser explicada como mudanças hereditárias na expressão de genes sem alterar o código genético, podendo este efeito persistir ao longo das gerações futuras (Drake & Liu, 2009; Reynolds et al., 2019). A alteração no ambiente uterino exerce um efeito significativo sobre o feto devido à sua maior sensibilidade aos estímulos intrauterinos, resultado da plasticidade fenotípica fetal (Buss et al., 2012).

Portanto, o uso de alimentos que busquem eficiência de utilização e aporte de nutrientes adequados à mãe e ao feto se fazem necessários de forma a assegurar a manutenção da gestação e o escore de condição corporal da fêmea ao longo do período gestacional e, concomitantemente, proporcionar um adequado crescimento e desenvolvimento fetal. Ingredientes que aumentem o teor energético da dieta, podem proporcionar o atendimento das exigências de manutenção e gestação da fêmea mesmo em condições de baixa ingestão de matéria seca (terço final da gestação). Trabalhos anteriores têm demonstrado resultados satisfatórios no desempenho de vacas *Bos taurus* multíparas e sua prole quando estas foram suplementadas nos terços médio e final da gestação com sais de cálcio de óleo de soja (Marques et al., 2017; Brandão et al., 2020).

Adicionalmente, ganhos de peso superiores da prole tornam o sistema produtivo mais eficiente, visto que os animais alcançarão seu peso ideal para o abate mais rapidamente, aumentando a rotatividade do rebanho e a taxa de desfrute. Añez-Osuna et al. (2019) suplementaram vacas Angus com ácidos graxos poli-insaturados a partir do terço médio da gestação e observaram que os bezerros apresentaram maior peso ao nascimento. Neste estudo, o maior peso ao nascimento foi associado ao aumento da absorção placentária de nutrientes devido à alimentação com dieta rica em gordura.

Dietas ricas em gordura durante o período gestacional, mais especificamente ricas em ácidos graxos poli-insaturados promovem maior circulação sanguínea de ácidos graxos não esterificados, os quais são transferidos para o feto via placenta (Soares, 1986). A transferência dos ácidos graxos ocorre por meio de difusão passiva ou a partir dos transportadores de membrana presentes nas membranas basais das células trofoblásticas e nas membranas endoteliais dos capilares fetais (Cetin et al.,

2009). Uma vez dentro da célula, o ácido graxo não esterificado se liga ao FABP citosólico que facilita o movimento intracelular de ácidos graxos e as interações com organelas subcelulares (Gil-Sánchez et al., 2011). Este processo resulta em aumento de ácidos graxos poli-insaturados na circulação sanguínea fetal, os quais serão transportados para os tecidos fetais em lipoproteínas na forma de fosfolipídios ou triglicerídeos (Innis, 2005). No feto, os ácidos graxos poli-insaturados possuem capacidade de modular genes envolvidos na miogênese, adipogênese ou até mesmo organogênese, dependendo do período pelo qual eles forem fornecidos à mãe (Jump, 2004; Innis, 2007).

2.2. Sais de cálcio de óleo de soja na programação fetal

Os sais de cálcio de óleo de soja são resultantes do processo de saponificação do óleo de soja, no qual ocorre o aquecimento do óleo com uma base forte (geralmente hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio) em temperatura controlada por um período específico (Aldai et al., 2005). Durante esse processo, a base reage com os ácidos graxos presentes no óleo de soja, formando sais de cálcio (ou sabão) e glicerol (Burke, 2005). Este processo tem como finalidade a proteção da estrutura dos ácidos graxos da biohidrogenação (saturação dos ácidos graxos insaturados por meio da adição de hidrogênio na cadeia carbônica) ruminal (Buccioni et al., 2012) e aumento do fluxo de ácidos graxos para o intestino.

O fornecimento de lipídeos para ruminantes tem como objetivo o aumento da densidade energética da dieta, visto que fornecem 2,25 vezes mais energia que os carboidratos (Reddy et al., 1994). A importância deste fornecimento se dá principalmente no terço final da gestação, onde a fêmea tem seu consumo de matéria seca reduzido em torno de 29% (Grummer et al., 2004). Contudo, a inclusão de lipídeos deve receber devida atenção, uma vez que altos níveis (acima de 7% na matéria seca da dieta) pode provocar redução na degradação da fibra (NRC, 2001), resultante do revestimento das partículas do alimento pelos ácidos graxos dificultando a aderência microbiana às partículas do alimento e pela toxicidade direta aos microrganismos em alterar a função da membrana plasmática (Jenkins, 1993).

Alguns ácidos graxos, especialmente os poli-insaturados (AGPI), podem ser tóxicos aos microrganismos do rúmen, principalmente às bactérias Gram-positivas, metanogênicas e protozoários. Isso ocorre devido à alteração na permeabilidade da membrana celular das bactérias, reduzindo a capacidade dessas em regular o pH intracelular e a captação de nutrientes (Galbraith & Miller, 1973). Neste sentido, o uso da proteção dos lipídeos com sais de cálcio pode ser uma alternativa promissora frente aos efeitos destes no consumo de matéria seca, causados pela redução na degradação da fibra e toxicidade aos microrganismos ruminais (Marques et al., 2017).

A proteção dos lipídeos via sais de cálcio permite que estes mantenham-se relativamente inertes ao pH ruminal, sendo dissociados no abomaso, o que eleva a densidade energética sem prejudicar a utilização da fibra (Doreau & Ferlay, 1994). A utilização de sais de cálcio de ácidos graxos na dieta de fêmeas gestantes, têm resultado em melhoria no desempenho futuro e produção de carcaça da prole (Marques et al., 2017; Brandão et al., 2020). Durante a gestação, os sais de cálcio de óleos dietéticos se tornam disponíveis após absorção na circulação e são transferidos para o feto através da placenta (Noble et al., 1978; Garcia et al., 2014).

Brandão et al. (2020) ao suplementarem vacas mestiças Angus x Hereford com sais de cálcio de óleo de soja no terço final da gestação observaram melhora na imunidade do bezerro, por meio da quantificação de maiores concentrações plasmáticas de IgG após 24 horas de nascimento. Esta imunidade foi diretamente correlacionada com uma maior resposta ao tratamento contra a doença respiratória bovina realizado nos animais no início do confinamento (Brandão et al., 2020).

2.3. Desenvolvimento do tecido muscular esquelético

O desenvolvimento do tecido muscular esquelético pode ser separado em três fases: (1) embrionária, (2) fetal e (3) pós-natal. As fibras musculares primárias são formadas durante a fase embrionária, já as fibras musculares secundárias são formadas durante a fase fetal. A fase pós-natal é caracterizada principalmente pela ativação das células satélites e seu envolvimento com o crescimento e regeneração muscular (Figura 1) (Du & Zhu, 2009).

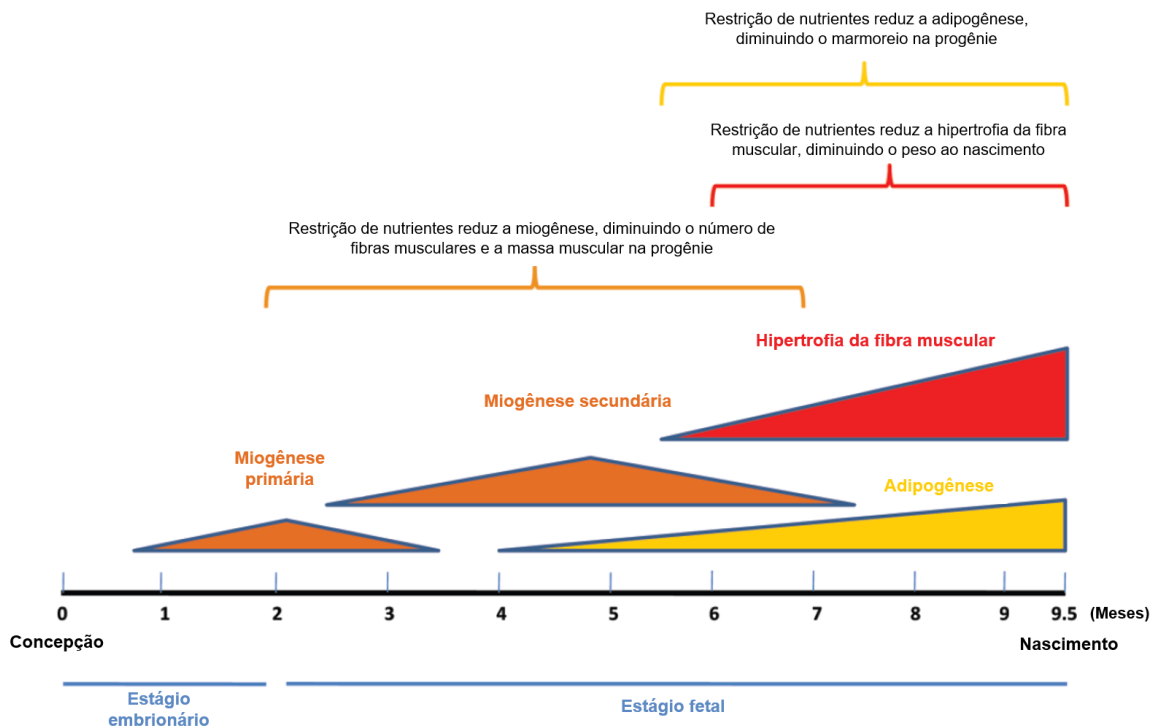


Figura 1. Efeitos da nutrição materna no desenvolvimento do músculo esquelético fetal bovino. Fonte: Adaptado de Du et al. (2010).

As células musculares esqueléticas embrionárias são derivadas de células-tronco mesenquimais, as quais derivam-se de uma estrutura embrionária transitória chamada dermomiótomo (Endo, 2015). Durante a fase embrionária, as células-tronco mesenquimais tornam-se células progenitoras miogênicas, as quais originarão mioblastos mononucleados, que por sua vez formarão o miótomo primário, caracterizando assim a formação do músculo inicial (Bonnet et al., 2010). A formação das fibras musculares esqueléticas (as unidades básicas do músculo esquelético) ocorre a partir do desenvolvimento dos miotubos, estes por sua vez, são formados a partir da proliferação e fusão dos mioblastos (Figura 2). O desenvolvimento do músculo esquelético segue um processo sequencial e sobreposto, compreendendo várias fases distintas, onde diferentes tipos de mioblastos contribuem para a formação de células miotomais, mioblastos embrionários e fetais, além das células satélites (Bonnet et al., 2010).

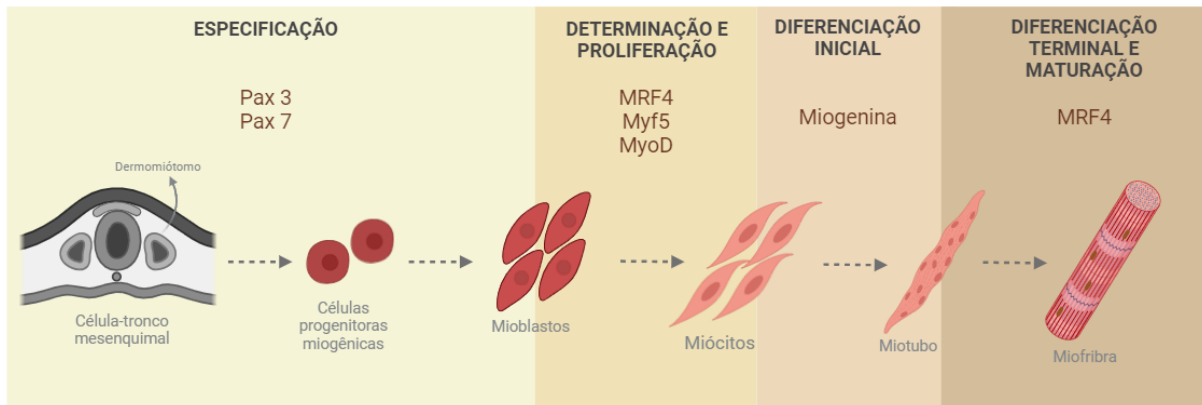


Figura 2. Desenvolvimento do tecido muscular esquelético. Adaptado de Bonnet et al. (2010), Abmayr & Pavlath (2012) e Ladeira et al. (2016).

Durante a fase inicial da miogênese, ocorre a fusão dos mioblastos embrionários, resultando na formação das miofibras primárias. Ao mesmo tempo, a diferenciação das células fetais e satélites é inibida pela ação de fatores de crescimento, como o fator de crescimento transformador β (TGF- β) e a proteína morfogenética óssea (BMP; Cusella-De Angelis et al., 1994). Após a formação das miofibras primárias, uma segunda onda de proliferação de mioblastos fetais é controlada pela secreção de fatores mitógenos, como o fator de crescimento de fibroblastos (FGF), que levará à formação das miofibras secundárias. Durante a fase fetal, a diferenciação dos mioblastos fetais em miofibras secundárias pode ocorrer devido à redução dos níveis de TGF- β e BMP (Biressi et al., 2007). Em bovinos, as fibras musculares primárias são formadas durante o período embrionário, nos dois primeiros meses após a concepção, enquanto as fibras musculares secundárias são formadas durante os estágios fetais, entre o 2º e o 7º mês de gestação (Russell & Oteruelo, 1981).

O estágio embrionário da miogênese é controlado por um conjunto de fatores de transcrição, incluindo *Wingless and Int (Wnt)*, *Sonic hedgehog (SHH)*, *Pax 3*, *Pax 7* e fatores reguladores miogênicos (MRFs; Du & McCormick, 2009). A sinalização de *Wnt* ocorre durante a formação do mesoderma e diferenciação das células-tronco mesenquimais, em que, este age ligando-se aos receptores *Frizzled (Fzd)* nas células alvo (Polesskaya et al., 2003). Essa ligação leva à inativação da enzima *glicogênio sintase quinase-3 β (GSK-3 β)* que estabiliza a β -*catenina* promovendo seu acúmulo no citoplasma e subsequente entrada no núcleo celular, onde atua em um complexo com

membros da família do *fator de célula T/fator intensificador linfoide (TCF/LEF)* para ativar genes alvo como *Myf5* e *MyoD* através da via *Pax3* e *Pax7* (Kassar-Duchossoy et al., 2004).

Posteriormente à especificação, as células progenitoras miogênicas, embora ainda não tenham se diferenciado em células musculares, já estão destinadas à linhagem muscular e são governadas pelos fatores de transcrição miogênicos, como *MyoD*, *Myf5*, *Miogenina* e *MRF4* (Bonnet et al., 2010). A expressão de *MRF4* acontece durante o estágio inicial da miogênese e após o nascimento, sendo o MRF dominante nesta última fase. Ainda durante a fase inicial da miogênese, a expressão de *MyoD*, *Myf5* e *Miogenina* ocorre seguida à expressão de *MRF4* e se mantém durante toda a vida fetal (Du & Zhu, 2009). Adicionalmente, *MyoD* e *Myf-5* desempenham um papel crucial ao induzir a diferenciação de células precursoras miogênicas pluripotentes em direção aos mioblastos, uma vez ocorrida a interrupção de ambos resulta na ausência de mioblastos esqueléticos (Berkes & Tapscott, 2005). O *MRF4* possui papel crucial na determinação e diferenciação terminal e a *Miogenina* age sobre a fusão dos mioblastos em miotubos (Berkes & Tapscott, 2005; Du & Zhu, 2009).

Durante o desenvolvimento fetal, a massa muscular é determinada pela combinação do aumento no número de fibras musculares (hiperplasia) e no tamanho dessas fibras (hipertrofia) (Du & McCormick, 2009). A hiperplasia ocorre exclusivamente no período pré-natal, enquanto o número de fibras musculares permanece fixo desde o nascimento, enquanto que a hipertrofia muscular começa durante o período pré-natal e continua até o final da puberdade (Du et al., 2010). Durante a miogênese, as células satélites próximas aos mioblastos encontram-se em um estado de inatividade (quiescência), permanecendo sem diferenciação devido à ação do *Fator de crescimento derivado de plaquetas (PDGF)* (Biressi et al., 2007). Contudo, elas desempenham um papel significativo no aumento do tamanho das fibras musculares e estão envolvidas nos processos de regeneração. Durante o período de crescimento pós-nascimento, as células satélites têm a capacidade de proliferar e fundir-se com as fibras existentes, resultando em um aumento do conteúdo de DNA e capacidade de síntese de proteínas (Rehfeldt et al., 2011). Esse processo ocorre em resposta a eventos como lesões, estresse mecânico e deposição de massa

muscular (Poleskaya et al., 2003; Kuang et al., 2007). Dessa forma, é possível inferir que um suporte nutricional e ambiental adequado durante a fase intrauterina pode ter um impacto positivo na eficiência da produção de carne, pois tanto a quantidade inicial de fibras musculares ao nascimento quanto o aumento no número de células satélites podem contribuir para esse resultado.

2.4. Desenvolvimento do tecido fibro-adipogênico e o metabolismo lipídico

O tecido adiposo corresponde entre 5 a 35% da composição corporal de um bovino adulto, dependendo de fatores como idade, genótipo e nutrição (Bonnet et al., 2010). Além da função de reserva energética (Chilliard et al., 2000), o tecido adiposo secreta adipocinas, as quais regulam o balanço de energia corporal (Macdougald & Mandrup, 2002; Ailhaud, 2006). O desenvolvimento inicial do tecido adiposo sobrepõe-se parcialmente à miogênese secundária (Du, Yin, et al., 2010). Em mamíferos, o tecido adiposo compreende em quatro depósitos de gordura: visceral, subcutâneo, intermuscular e intramuscular, os quais apresentam pontos distintos de formação durante a gestação (Du et al., 2013). A formação de adipócitos viscerais ocorre entre o terço médio da gestação e o início do estágio pós-natal, já os adipócitos subcutâneos são um pouco mais tardios, sendo formados entre o final do terço médio da gestação e o início do desmame (Du et al., 2013). A formação de adipócitos intramusculares ocorre mais tarde, principalmente após o final da gestação até os 250 dias de vida do animal (Figura 3) (Du et al., 2017). Vale salientar que o teor de gordura intramuscular contribui positivamente para o sabor e a suculência da carne, o que influencia na maior palatabilidade (Wood et al., 2008; Ladeira et al., 2016).

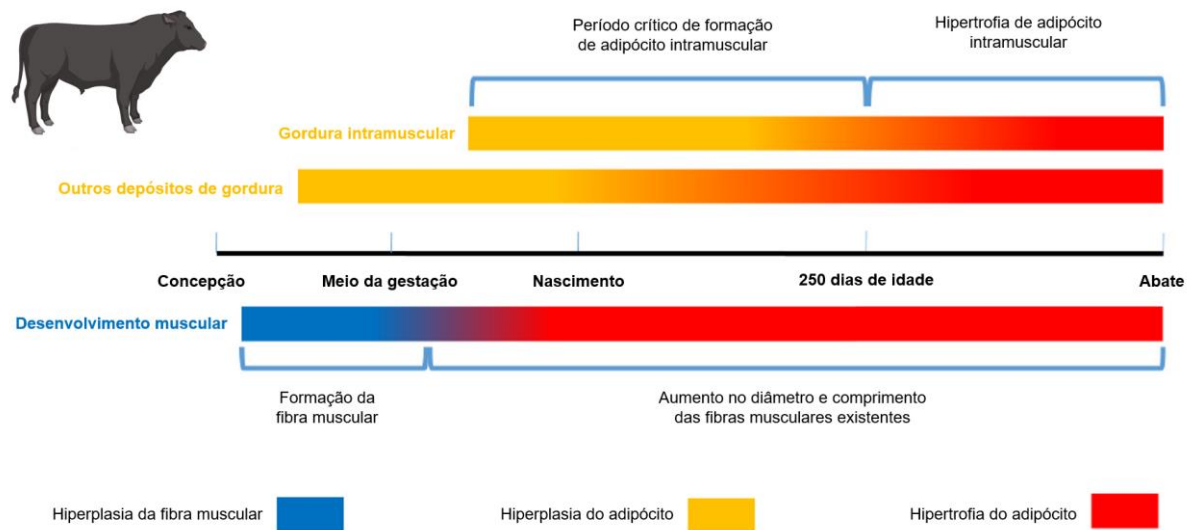


Figura 3. Cronogramas para o desenvolvimento do músculo esquelético e do tecido adiposo em bovinos de corte. Os tempos para hiperplasia e hipertrofia das fibras musculares e hiperplasia e hipertrofia dos adipócitos são aproximados. Fonte: Adaptado de Du et al. (2017).

Os adipócitos são derivados de células-tronco mesenquimais, assim como as células musculares esqueléticas e os fibroblastos (Bosnakovski et al., 2005). Adicionalmente, os compartilham da mesma origem dos adipócitos. Devido à capacidade de diferenciação das células tronco-mesenquimais em adipócitos e fibroblastos, estas são chamadas de células progenitoras fibro-adipogênicas (FAPs; Joe et al., 2010).

A fibrogênese tem seu desenvolvimento concomitante à adipogênese, sendo mais ativa durante o terço final da gestação (Hausman & Poulos, 2009). Esta é responsável pela formação do tecido conjuntivo que forma o perimísio e o epimísio no músculo fetal (Du et al., 2013). Embora, a fibrogênese seja controlada por diversas citocinas e fatores de crescimento, o *TGF-β* é o fator regulador mais importante (Liu & Pravia, 2010). Este último atua na sinalização de fatores citoplasmáticos *SMAD*, os quais sofrem fosforilação e são translocados para o núcleo onde se ligam a elementos de ligação específicos de *SMAD* de genes alvo, ativando a expressão de genes fibrogênicos como procolágenos e enzimas catalisadoras da reticulação do colágeno (Massague & Chen, 2000). O colágeno é a unidade estrutural da matriz extracelular e o principal componente do tecido conjuntivo, sendo os tipos I e III os mais abundantes

no músculo (Light et al., 1985). O colágeno é responsável pela dureza da carne, carnes com maiores teores são mais duras, assim como, carnes com menores teores apresentam maior maciez (McCormick, 1999).

A adipogênese é caracterizada por dois estágios distintos, sendo eles: determinação e diferenciação (Macdougald & Mandrup, 2002). O estágio de determinação é compreendido pela transformação de células-tronco mesenquimais em pré-adipócitos, as quais se tornam comprometidas com essa linhagem, perdendo a habilidade de se diferenciarem em outras linhagens mesenquimais (Figura 4). Este estágio é controlado pela expressão da *proteína dedo de zinco 423 (Zfp423)*, que compromete as células FAPs em formar pré-adipócitos (Gupta et al., 2010). A diferenciação ocorre após a determinação e pode ser definida pelo momento que os pré-adipócitos se tornam adipócitos maduros, os quais acumulam gotas lipídicas e a habilidade em responder a hormônios como a insulina. Este último estágio (diferenciação) é controlado pelo *Receptor Gama Ativado por Proliferadores de Peroxissomas (PPAR γ)*, o qual é induzido pela *Zfp423* (Gupta et al., 2010). A expressão de *Zfp423* está diretamente relacionada à regulação da adipogênese, em que, células com potencial altamente adipogênico possuem maior expressão desta proteína e esta por sua vez, reduz parcialmente a expressão de *TGF- β* (Huang et al., 2012). Desta forma, a regulação destes fatores permite o favorecimento da formação de tecido adiposo intramuscular em detrimento do tecido conectivo, possibilitando melhoria em aspectos qualitativos da carne como marmoreio e maciez (Du et al., 2013, 2017).

Após a formação dos pré-adipócitos, a fase de amadurecimento destes em adipócitos maduros é controlada por dois principais fatores de transcrição, o *PPAR γ* e a família de *proteínas de ligação de CCAAT/potenciador (C/EBPs)* (Avram et al., 2007). Nesta fase, inicialmente ocorre a expressão dos fatores de transcrição *C/EBP β* e *C/EBP δ* que promoverão a indução de *PPAR γ* e *C/EBP α* (Farmer, 2006). Estes dois últimos são os principais fatores de transcrição responsáveis pela diferenciação do tecido adiposo, embora *PPAR γ* seja suficiente para induzir a expressão de muitos genes adipogênicos, o *C/EBP α* é necessário para conferir sensibilidade à insulina ao adipócito (Wu et al., 1999). Por outro lado, a expressão do *fator de determinação e diferenciação-1/proteína de ligação ao elemento regulador estero1-1 (ADD-1/SREBP-*

1) estimula a expressão de genes específicos de adipócitos, como os da lipoproteína lipase (LPL), leptina e a proteína de ligação dos ácidos graxos (*FABP4*), levando assim, ao fenótipo característico do adipócito maduro (Fajas et al., 1998).

Adicionalmente, o complexo de sinalização *Wnt* dependente de β -*catenina* também possui função regulatória sobre a adipogênese, em especial ao estágio de diferenciação (Farmer, 2006). A inativação de *Wnt* promove a fosforilação da β -*catenina* pela proteína *Glicogênio sintase quinase-3 β* (*GSK-3 β*) impedindo o acúmulo de β -*catenina* no núcleo celular. A *GSK-3 β* tem função de fosforilação de fatores de transcrição nuclear como *C/EBP β* e *Snail*, que são responsáveis por ativar a expressão de genes adipogênicos, como *PPAR γ* e *C/EBP α* (Macdougald & Mandrup, 2002; Lee et al., 2013; Xie et al., 2018). Portanto, a sinalização positiva do complexo *Wnt/ β -catenina* inibe a diferenciação dos pré-adipócitos e estimula a osteogênese e miogênese por meio da expressão de *COUP-TFII*, o qual inibe a expressão de *PPAR γ* (Du et al., 2010; Maltzahn et al., 2012; Bagchi et al., 2020).

Após o estágio de diferenciação, os adipócitos estarão repletos de triglicerídeos, processo conhecido como lipogênese. O enchimento dos adipócitos é regulado principalmente por fatores nutricionais, os quais implicarão na manutenção (aumento ou diminuição) da lipogênese e lipólise (Bonnet et al., 2010). Além disso, uma maior intensificação deste processo é observada após a puberdade e a maturidade do animal quando o tecido muscular tem seu crescimento reduzido (Owens et al., 1995). A lipogênese ocorre principalmente no fígado e tecido adiposo a partir dos ácidos graxos da dieta ou da síntese de novo de ácidos graxos (Vernon et al., 1999). Esta última refere-se ao processo pelo qual novas moléculas de ácidos graxos são sintetizadas a partir de precursores simples, como por exemplo, o acetato. A síntese de novo inicia-se com a conversão do acetato absorvido através do epitélio ruminal em acetil-CoA por meio da ação da enzima acetil-CoA sintetase. Em seguida há a adição de um grupo carboxila ao acetil-CoA pela enzima acetil-CoA carboxilase (ACC) convertendo-o em malonil-CoA (Vernon et al., 1999; Ladeira et al., 2016). A síntese de ácidos graxos ocorre em ciclos de alongamento, mediados por uma enzima multifuncional chamada *sintase de ácidos graxos* (*FAS*). Em cada ciclo, o malonil-CoA é adicionado ao ácido graxo em crescimento, alongando-o por duas unidades de carbono. Durante cada ciclo, o ácido graxo em crescimento passa por reduções

sucessivas, onde grupos cetona são convertidos em grupos hidroxila, resultando em um ácido graxo saturado, como, por exemplo, o ácido palmítico (Kihara, 2012). Após vários ciclos, o ácido graxo saturado é liberado da *FAS*. Se for necessário produzir ácidos graxos insaturados, enzimas chamadas dessaturases podem introduzir duplas ligações nos ácidos graxos (Halim et al., 2022). A ação das principais enzimas envolvidas no processo de síntese de novo de ácidos graxos é codificada pelos genes *ACC* e *FAS*, os quais podem ter sua transcrição regulada através dos níveis de insulina e glicose no plasma (Girard et al., 1994).

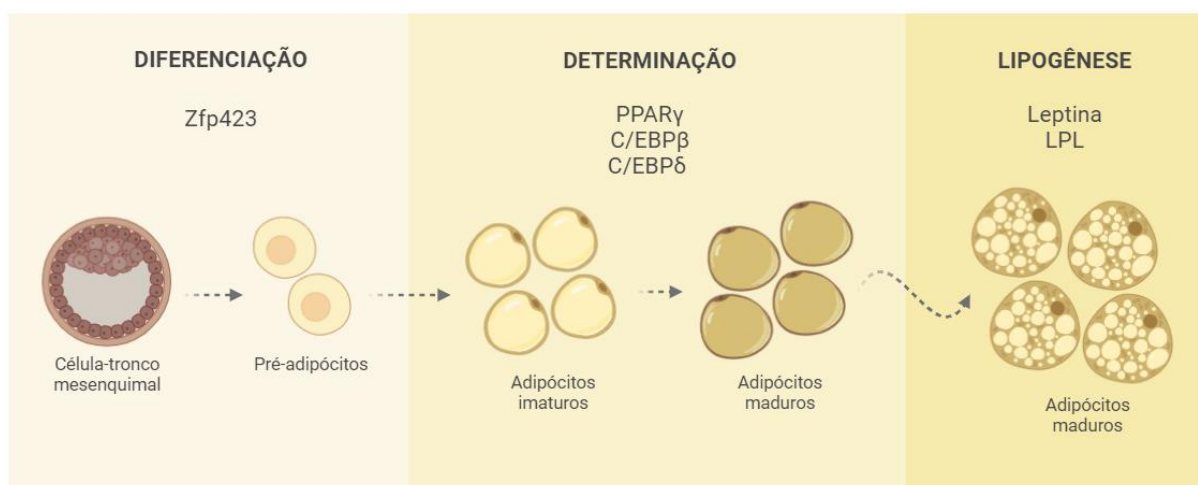


Figura 4. Desenvolvimento do tecido adiposo. Adaptado de Fajas et al. (1998) e Chang & Hung (2022).

A absorção de ácidos graxos da dieta ocorre por meio da hidrólise dos triglicerídeos dos quilomícrons e das lipoproteínas de densidade muito baixa (*VLDL*) pela lipoproteína lipase (*LPL*), resultando na liberação de dois ácidos graxos livres não esterificados (AGNE) e um monoacilglicerol para utilização tecidual (Zhao et al., 2014). O transporte dos ácidos graxos para dentro da célula é feito por três grupos de transportadores: translocase de ácidos graxos (*CD36*), proteína de transporte de ácidos graxos (*FATP*) ou *FABP* em associação com acil-CoA sintase (Ladeira et al., 2018). Dentro dos adipócitos, os ácidos graxos ligados à *FABP* são transportados para o sítio de esterificação ou β -oxidação (Eaton, 2002). Durante o processo de lipólise, é necessário oxidar os ácidos graxos na mitocôndria, sendo essa conversão facilitada pela ação da enzima carnitina palmitoil transferase 1 (*CPT1*; Bionaz et al., 2020). Uma vez nas mitocôndrias, a *CPT2* desempenha o papel de converter a acilcarnitina de

cadeia longa de volta em acil-CoA de cadeia longa, permitindo que o acil-CoA de cadeia longa prossiga então na via de β -oxidação (Ladeira et al., 2018).

2.5. Efeitos epigenéticos da programação fetal

Epigenética refere-se ao estudo de mudanças hereditárias na expressão gênica ou características fenotípicas que não envolvem alterações na sequência de DNA (Weinhold, 2006). Em outras palavras, a epigenética está relacionada a modificações reversíveis que ocorrem no material genético ou nas proteínas associadas a ele, influenciando como os genes são ativados ou desativados. A metilação do DNA, as modificações nas histonas (proteínas associadas ao DNA) e microRNAs são exemplos de modificações epigenéticas (Figura 5) (Vicente-García et al., 2022).

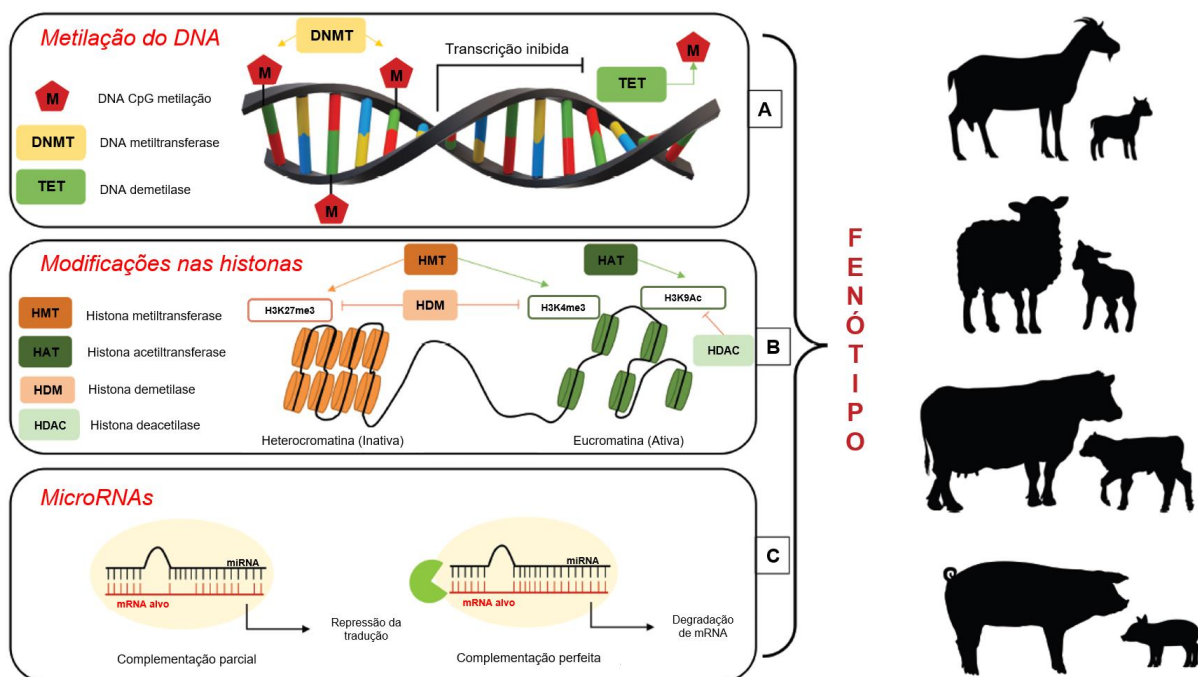


Figura 5. Influência de marcas epigenéticas no fenótipo animal. Fonte: Adaptado de Costa et al. (2021).

A metilação do DNA é um processo em que grupos metila (-CH₃) são adicionados às bases do DNA, principalmente à citosina. Esse processo é catalisado por enzimas chamadas metiltransferases (DNA *metiltransferase* - *DNMT*), que transferem grupos metila de doadores específicos para as citosinas em sequências específicas, conhecidas como sítios dinucleotídeos *cytosine-phosphorous-guanine* (CpG; Stevenson et al., 2020). A metilação ocorre preferencialmente em regiões

promotoras e ilhas CpG, afetando a acessibilidade do DNA e, assim, controlando a expressão de genes. Adicionalmente, as MBPs (*Methyl Binding Proteins*) conectam-se às regiões promotoras da CpG, inibindo a ligação dos fatores de transcrição aos seus locais específicos (Attwood et al., 2002). Avaliando o efeito da nutrição materna na expressão gênica da prole, Lillycrop et al. (2005) ao alimentarem ratos com uma dieta restrita em proteína durante a gestação induziu a hipometilação do receptor de glicocorticoide e *PPAR γ* no fígado de descendentes juvenis e adultos, o que foi associado a um aumento no receptor de glicocorticoide e na expressão de mRNA de *PPAR γ* . Em um outro estudo, avaliando a metilação do DNA em raças zebuínas e mestiços zebuínas x taurinas, os autores encontraram maior expressão do gene BDNF (*brain-derived neurotropic factor*), o qual está envolvido em diferentes vias de respostas ao estresse (Masroor et al., 2022). A explicação para esta maior expressão gênica foi devido à reduzida metilação do DNA na região promotora do gene em questão.

As histonas são proteínas encontradas no núcleo das células e desempenham um papel crucial na organização e compactação do material genético. Elas são responsáveis por ajudar a estruturar o DNA em uma forma mais condensada, chamada cromatina (Perdiguero et al., 2009). A cromatina é composta por DNA, RNA e proteínas, sendo as histonas uma parte importante desse complexo. As histonas atuam como "enroladores" do DNA ao seu redor, formando estruturas conhecidas como nucleossomos (Stevenson et al., 2020). Cada nucleossomo consiste em um segmento de DNA que está envolto por proteínas histonas. Diferentes alterações covalentes pós-traducionais nas histonas relacionam-se a variados componentes genômicos e desempenham diversas funções na modificação da estrutura da cromatina ou na atração de outras proteínas para regular a expressão gênica (Rintisch et al., 2014). Modificações como a di-/tri-metilação da lisina 4 da histona H3 (H3K4me2/me3), H3K36me3, H3K79me3 e a acetilação das histonas estão associadas à expressão ativa, ao passo que H3K9me2/me3, H3K27me3 e a desacetilação das histonas estão ligadas à repressão transcricional (Zhang et al., 2015). Em um processo coordenado, as proteínas que se unem ao DNA metilado também se combinam com as proteínas responsáveis pela desacetilação das histonas. Consequentemente, a metilação do DNA leva à desacetilação das histonas

adjacentes, resultando em efeitos inibitórios complexos na transcrição. Analogamente, o DNA não metilado não atrai enzimas desacetilantes para as histonas, permitindo que estas permaneçam acetiladas e mais móveis, o que, por sua vez, promove a transcrição (Phillips, 2008). Em um estudo com neonatos filhotes de ratas alimentadas com dieta com alto teor de gordura durante a gestação, estes apresentaram acetilação das histonas H3 e H4 e metilação da H3K9, o que resultou em supressão da expressão de mRNA *Wnt1* e proteína nuclear β -catenina, bem como resultados fisiológicos, incluindo açúcar elevado no sangue e aumento do acúmulo de gordura no fígado (Yang et al., 2012). Complementarmente, a suplementação de ratas com butirato durante a gestação promoveu a acetilação das histonas H3K9 e H3K27 no músculo esquelético da progênie. A ativação da acetilação destas histonas aumentou a regulação transcricional de genes lipogênicos, como PPAR γ e C/EBP β , resultando em aumento da adipogênese e acúmulo lipídico (Huang et al., 2017).

Os miRNAs (microRNAs) são pequenas moléculas de RNA não codificantes que desempenham um papel importante na regulação da expressão gênica. Eles podem se ligar a sequências específicas de RNA mensageiro (mRNA), inibindo a tradução do mRNA em proteína ou promovendo sua degradação (Chuang & Jones, 2007). Essa regulação pós-transcricional pode afetar a quantidade de proteínas produzidas a partir de um determinado gene. Estudos anteriores têm demonstrado os efeitos dos miRNAs na expressão gênica de determinados genes, como exemplo, miR-103 e miR-30 mostraram aumentar a adipogênese (Xie et al., 2009; Zaragosi et al., 2011), enquanto miR-27 e miR-138 inibiram a adipogênese (Lin et al., 2009; Wang et al., 2019). Além disso, Bae et al. (2017) ao avaliarem a relação entre miR-143 e PPAR γ , encontraram que ambos trabalham sinergicamente durante a diferenciação dos adipócitos favorecendo a adipogênese. Adicionalmente, os miRNAs desempenham funções regulatórias sobre a miogênese, tal como miR-206, o qual foi associado à hipertrofia muscular em ovelhas Texel (Clop et al., 2006). A partir do mapeamento de loci de características quantitativas revelou-se que ovelhas Texel têm um polimorfismo de nucleotídeo único (SNP) dentro do 3'-UTR do gene da miostatina, que resulta na formação de um local alvo miR-206 funcional. Como consequência deste SNP, a tradução do mRNA da miostatina é aparentemente reprimida pelo miR-206, causando uma perda de 70% dos níveis séricos de miostatina em ovelhas Texel

(Clop et al., 2006). Como conhecido, os níveis de miostatina são inversamente proporcionais à massa muscular esquelética (Walsh & Celeste, 2005).

Portanto, durante a fase de desenvolvimento fetal, a dieta fornecida à mãe possui efeito sobre a expressão gênica do feto por meio de fatores transcricionais a nível de DNA. Em que, a super ou subalimentação, ou até mesmo o uso de alimentos específicos durante a gestação podem alterar o desenvolvimento pós-natal da progênie.

2.6. Efeitos da nutrição materna sobre as características de carcaça e de qualidade da carne da progênie

A nutrição materna durante o período gestacional impacta o desempenho pós-natal da progênie, assim como a qualidade de sua carne por meio do aumento da deposição lipídica e/ou alteração de seu perfil de ácidos graxos (Blair et al., 2021; Roque-Jiménez et al., 2023). Estudo recente avaliando os efeitos na qualidade da carcaça de animais filhos de vacas submetidas à suplementação com sais de cálcio de ácidos graxos poli-insaturados mostraram efeitos positivos sobre a área do músculo *Longissimus*, peso de carcaça quente e o grau de marmoreio destes animais quando comparados aos bezerros de vacas controle (Marques et al., 2017).

Outros estudos também demonstraram efeito positivo dos ácidos graxos poli-insaturados na função muscular e nos adipócitos em tecidos em desenvolvimento de bovinos (Hiller et al., 2012; Moriel et al., 2021). Hiller et al. (2012) relataram que o ácido graxo n-3 afetou a expressão de genes relacionados à biologia muscular e a qualidade da carne em bovinos (e.g. SEMA3C), proporcionando melhorias reconhecidas da função muscular por meio do aumento da fluidez da membrana celular, angiogênese acelerada, inervação, síntese de mediadores e resposta imune. Por outro lado, o ácido graxo n-6 demonstrou ter efeitos adipogênicos ao aumentar a expressão de *PPAR γ* nos tecidos musculares, principal regulador do armazenamento de ácidos graxos e adipogênese e importante promotor da diferenciação de adipócitos e marmoreio em bovinos (Rosen & Macdougald, 2006). O tecido adiposo intramuscular é positivamente associado à qualidade da carne levando à sua melhor

palatabilidade e melhor aceitabilidade por parte do consumidor quando este se encontra presente na carne (Platter et al., 2003).

Adicionalmente, Brandão et al. (2020) encontraram maior expressão de mRNA de diferenciação miogênica 1 (*MyoD*) e miogenina em bezerros filhos de vacas suplementadas com ácidos graxos poli-insaturados durante o terço final da gestação. Miogenina e *MyoD* são genes regulatórios expressos pelos miócitos que regulam o crescimento muscular pós-natal, por meio da diferenciação e fusão com fibras musculares existentes (Perdiguero et al., 2009). O aumento da expressão desses genes pode indicar uma maior proliferação de miócitos nas fibras musculares após a expressão da miogenina (Rudnicki & Jaenisch, 1995; Du, Tong, et al., 2010).

Além do aumento no número de fibras musculares e expressão de genes adipogênicos no feto, a suplementação materna com ácidos graxos poli-insaturados durante a gestação demonstrou afetar o perfil de ácidos graxos na carne da progênie. Nudda et al. (2022) suplementando ovelhas com linhaça extrusada durante as oito últimas semanas de gestação encontraram aumento de C18:3 n-3 (ALA: ácido α -linolênico) e C20:5 n-3 (EPA: ácido eicosapentaenoico) no músculo *Longissimus dorsi* dos cordeiros. Assim como o óleo de soja, a linhaça é fonte de ácidos graxos poli-insaturados, os quais ao serem consumidos pela mãe podem alterar a composição de ácidos graxos dos lipídeos no sangue fetal, afetando os tecidos em desenvolvimento e causando diferenciação em órgãos e células (Kabaran & Besler, 2015). A maior concentração de AGPI na carne pode agregar benefícios à saúde humana, visto que estes possuem efeitos positivos na redução da hipertensão (Berry & Hirsch, 1986; Bercea et al., 2021) e risco de doença cardíaca coronária em humanos (Ascherio et al., 1996; Calder, 2015).

Portanto, a nutrição materna com sais de cálcio de óleo de soja permite o maior aporte de ácidos graxos poli-insaturados tanto da mãe quanto do feto, resultando na modulação de fatores de transcrição gênicos, os quais podem alterar o desempenho da progênie e a qualidade de sua carne.

3. REFERÊNCIAS

Abmayr SM, Pavlath GK (2012) Myoblast fusion: Lessons from flies and mice.

Development 139(4):641–656.

- Ailhaud G (2006) Adipose tissue as a secretory organ: from adipogenesis to the metabolic syndrome. **Comptes Rendus Biologies** 329:570–577.
- Aldai N, Murray BE, Nájera AI, Troy DJ, Osoro K (2005) Derivatization of fatty acids and its application for conjugated linoleic acid studies in ruminant meat lipids. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 85(7):1073–1083.
- Añez-Osuna F, Penner GB, Campbell J, Dugan MER, Fitzsimmons CJ, Jefferson P G, Lardner HA, McKinnon JJ (2019) Level and source of fat in the diet of gestating beef cows: I. Effects on the prepartum performance of the dam and birth weight of the progeny. **Journal of Animal Science** 97(7):3103–3119.
- Ascherio A, Rimm EB, Giovannucci EL, Spiegelman D, Stampfer M, Willett WC, Willett WC, Ascherio A, Rimm EB, Giovannucci EL, Spiegelman D, Stampfer M (1996) Dietary Fat And Risk Of Coronary Heart Disease In Men: Cohort Follow Up Study In The United States. **BMJ** 313(7049):84–90.
- Attwood JT, Yung RL, Richardson BC (2002) Cellular and Molecular Life Sciences Review DNA methylation and the regulation of gene transcription. **Cellular and Molecular Life Sciences** 59:241–257.
- Avram MM, Avram AS, James WD (2007) Subcutaneous fat in normal and diseased states 3 . Adipogenesis: From stem cell to fat cell. **Journal of the American Academy of Dermatology** 56(3):472–492.
- Bae I, June P, Hwa J, Cho E, Ryong T, Hoon S (2017) PPAR γ -mediated G-protein coupled receptor 120 signaling pathway promotes transcriptional activation of miR-143 in adipocytes. **Gene** 626:64–69.
- Bagchi DP, Nishii A, Li Z, DelProposto JB, Corsa CA, Mori H, Hardij J, Learman BS, Lumeng CN, MacDougald OA (2020) Wnt/ β -catenin signaling regulates adipose tissue lipogenesis and adipocyte-specific loss is rigorously defended by neighboring stromal-vascular cells. **Molecular Metabolism** 42:1–20.
- Barker DJ (2004) The developmental origins of well-being. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences** 359(1449):1359-1366.
- Bercea CI, Cottrell GS, Tamagnini F, McNeish AJ (2021) Omega-3 polyunsaturated fatty acids and hypertension: a review of vasodilatory mechanisms of docosahexaenoic acid and eicosapentaenoic acid. **British Journal of Pharmacology**, 178(4), 860–877.
- Berkes CA, Tapscott SJ (2005) MyoD and the transcriptional control of myogenesis. **Seminars in Cell and Developmental Biology**, 16(4–5), 585–595.
- Berry EM, Hirsch J (1986) Does dietary linolenic acid influence blood pressure? **American Journal of Clinical Nutrition**, 44(3), 336–340.
- Bionaz M, Vargas-Bello-Pérez E, Busato S (2020) Advances in fatty acids nutrition in dairy cows: from gut to cells and effects on performance. **Journal of Animal Science and Biotechnology** 11(1):1–36.

- Biressi S, Molinaro M, Cossu G. (2007) Cellular heterogeneity during vertebrate skeletal muscle development. **Development Biology** 308:281–293.
- Blair AD, Gubbels ER, Block JJ, Olson KC, Grubbs JK Underwood KR (2021) Maternal Nutrition and Meat Quality of Progeny. **Meat and Muscle Biology** 5(3).
- Bohnert DW, Stalker LA, Mills RR, Nyman A, Falck SJ, Cooke RF (2013) Late gestation supplementation of beef cows differing in body condition score: Effects on cow and calf performance. **Journal of Animal Science** 91(11):5485–5491.
- Bonnet M, Chilliard Y, Picard B (2010) Ontogenesis of muscle and adipose tissues and their interactions in ruminants and other species. **The International Journal of Animal Biosciences** 4(7):1093–1109.
- Bosnakovski D, Mizuno M, Kim G, Takagi S, Okumura M, Fujinaga T (2005) Isolation and multilineage differentiation of bovine bone marrow mesenchymal stem cells. **Cell Tissue Res** 319:243–253.
- Brandão AP, Cooke RF, Schubach KM, Rett B, Souza OA, Schachtschneider CL, Perry GA, Arispe SA, Jump DB, Pohler KG, Bohnert DW, Marques RS (2020) Supplementing Ca salts of soybean oil to late-gestating beef cows: Impacts on performance and physiological responses of the offspring. **Journal of Animal Science** 98(8):1-12.
- Buccioni A, Decandia M, Minieri S, Molle G, Cabiddu A (2012) Lipid metabolism in the rumen: New insights on lipolysis and biohydrogenation with an emphasis on the role of endogenous plant factors. **Animal Feed Science and Technology**, 174(1–2):1–25.
- Burke MR (2005) Soaps. In: Fereidoon Shahidi, **Bailey's industrial oil and fat products**. A John Wiley & Sons, Inc., p. 103-136.
- Buss C, Entringer S, Wadhwa PD (2012) Fetal programming of brain development: intrauterine stress and susceptibility to psychopathology. **Science signaling** 5(245):pt7-.
- Calder PC (2015) Functional Roles of Fatty Acids and Their Effects on Human Health. **Journal of Parenteral and Enteral Nutrition** 39:18S-32S.
- Chang YH, Hung HY (2022) Recent advances in natural anti-obesity compounds and derivatives based on in vivo evidence: a mini-review. **European Journal of Medicinal Chemistry** 237:114405.
- Chilliard Y, Ferlay A, Faulconnier Y, Bonnet M, Rouel J (2000) Adipose tissue metabolism and its role in adaptations to undernutrition in ruminants. **Proceedings of the Nutrition Society** 59:127–134.
- Chuang JC, Jones PA (2007) Epigenetics and MicroRNAs. **Pediatric Research**, 61(5):24–29.
- Clop A, Marcq F, Takeda H, Pirottin D, Tordoir X, Bibe B, Bouix J, Caiment F, Elsen J, Eychenne F, Larzul C, Laville E, Milenkovic D, Tobin J, Charlier C, Georges M (2006) A mutation creating a potential illegitimate microRNA target site in the myostatin gene affects muscularity in sheep. **Nature Genetics** 38(7):813–818.

- Costa TC, Gionbelli MP, Duarte MDS (2021) Fetal programming in ruminant animals: understanding the skeletal muscle development to improve meat quality. **Animal Frontiers** 11(6):66–73.
- Cusella-De Angelis MG, Molinari S, Le Donne A, Coletta M, Vivarelli E, Bouche M, Molinaro, M (1994) Differential response of embryonic and fetal myoblasts to TGF β : a possible regulatory mechanism of skeletal muscle histogenesis. **Development** 120(4):925–933.
- Doreau M, Ferlay A (1994) Digestion and utilisation of fatty acids by ruminants. **Animal Feed Science and Technology** 45(3-4):379-396.
- Drake AJ, Liu L (2009) Intergenerational transmission of programmed effects: Public health consequences. **Trends in Endocrinology and Metabolism** 21(4):206–213.
- Du M, Huang Y, Das AK, Yang Q, Duarte MS, Dodson MV, Zhu MJ (2013) MEAT SCIENCE AND MUSCLE BIOLOGY SYMPOSIUM : Manipulating mesenchymal progenitor cell differentiation to optimize performance and carcass value of beef cattle. **Journal of Animal Science**, 91:1419–1427.
- Du M, Stephen P, Ford SP, Zhu MJ (2017) Optimizing livestock production efficiency through maternal nutritional management and fetal developmental programming. **Animal Frontiers** 7(3):5–11.
- Du M, Tong J, Zhao J, Underwood KR, Zhu M, Ford SP, Nathanielsz PW (2010) Fetal programming of skeletal muscle development in ruminant animals. **Journal of Animal Science** 88:E51–E60.
- Du M, Yin J, Zhu MJ (2010) Cellular signaling pathways regulating the initial stage of adipogenesis and marbling of skeletal muscle. **MESC** 86(1):103–109.
- Du M, Zhao JX, Yan X, Huang Y, Nicodemus LV, Yue W, McCormick RJ, Zhu MJ (2011) Fetal muscle development, mesenchymal multipotent cell differentiation, and associated signaling pathways. **Journal of Animal Science** 89(2): 583-590.
- Du M, Zhu M (2009) Fetal Programming of Skeletal Muscle Development. **Applied Muscle Biology and Meat Science** 26:81–96.
- Eaton S (2002) Control of mitochondrial b-oxidation flux. **Progress in Lipid Research** 41:197–239.
- Endo T (2015) Molecular mechanisms of skeletal muscle development, regeneration, and osteogenic conversion. **Bone** 80:2–13.
- Fajas L, Fruchart J, Auwerx J (1998) Transcriptional control of adipogenesis. **Cell Regulation** 10:165–173.
- Farmer SR (2006) Transcriptional control of adipocyte formation. **Cell Metabolism**, 4:263–273.
- Ferrell CL, Garrett WN, Hinman N (1976) Growth, development and composition of the udder and gravid uterus of beef heifers during pregnancy. **Journal of Animal Science** 42(6):1477–1489.

- Funston RN, Larson DM, Vonnahme KA (2010) Effects of maternal nutrition on conceptus growth and offspring performance: Implications for beef cattle production. **Journal of Animal Science** 88(E.Suppl.):E205–E215.
- Galbraith H, Miller TB (1973) Effect of Long Chain Fatty Acids on Bacterial Respiration and Amino Acid Uptake. **Journal of Applied Bacteriology** 36:669–675.
- Garcia M, Greco LF, Favoreto MG, Marsola RS, Wang D, Shin JH, Block E, Thatcher WW, Santos JEP, Staples CR (2014) Effect of supplementing essential fatty acids to pregnant nonlactating Holstein cows and their preweaned calves on calf performance, immune response, and health. **Journal of Dairy Science** 97(8):5045–5064.
- Gionbelli MP, Filho SCV, Duarte MS (2016) Exigências nutricionais para vacas de corte vazias e gestantes. **Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados - BR-CORTE** 273–298
- Girard J, Perdereau D, Fougère F, Prip-Buus C, Ferré P (1994) Regulation of lipogenic enzyme gene expression by nutrients and hormones. **The FASEB Journal** 8(1):36–42.
- Grummer RR, Mashek DG, Hayirli A (2004) Dry matter intake and energy balance in the transition period. **Veterinary Clinics: Food Animal Practice** 20(3):447-70.
- Gupta RK, Seale P, Mepani R, Medicine E, Ye L (2010) Transcriptional Control of Preadipocyte Determination by Zfp423. **Nature** 464(7288):619–623.
- Halim NFAA, Ali MSM, Leow ATC, Rahman, RNZRA (2022) Membrane fatty acid desaturase: biosynthesis, mechanism, and architecture. **Applied Microbiology and Biotechnology** 106(18):5957–5972.
- Hausman GJ, Poulos SP (2009) Adipose tissue development in extramuscular and intramuscular depots. In M. Du & R. J. McCormick (Eds.), **Applied Muscle Biology and Meat Science** 67–80.
- Hiller B, Hocquette, JF, Cassar-Malek I, Nuernberg G, Nuernberg K (2012) Dietary n-3 PUFA affect lipid metabolism and tissue function-related genes in bovine muscle. **British Journal of Nutrition** 108(5):858–863.
- Huang Y, Das AK, Yang Q, Zhu M, Du M (2012) Zfp423 Promotes Adipogenic Differentiation of Bovine Stromal Vascular Cells. **Plos One** 7(10):1–10.
- Huang Y, Gao S, Chen J, Albrecht E, Zhao R, Yang X (2017) Maternal butyrate supplementation induces insulin resistance associated with enhanced intramuscular fat deposition in the offspring. **Oncotarget** 8(8):13073–13084.
- Innis SM (2005) Essential fatty acid transfer and fetal development. **Placenta** 26:S70-S75.
- Innis SM. Dietary (n-3) fatty acids and brain development1 (2007) **The Journal of nutrition** 137(4):855-859.
- Izquierdo V, Vedovatto M, Palmer EA, Oliveira RA, Silva HM, Vendramini JM, Moriel P (2022) Frequency of maternal supplementation of energy and protein during late

- gestation modulates preweaning growth of their beef offspring. **Translational Animal Science** 6(3):txac110.
- Jenkins TC (1993) Lipid Metabolism In the Rumen. **Journal of Dairy Science**, 76(12):3851–3863.
- Joe AWB, Yi L, Natarajan A, Grand FL, So L, Wang J, Rudnicki MA (2010) Muscle injury activates resident fibro / adipogenic progenitors that facilitate myogenesis. **Nature Cell Biology** 12(2):153–163.
- Jump DB (2004) Fatty acid regulation of gene transcription. **Critical reviews in clinical laboratory sciences** 41(1):41-78.
- Kabaran S, Besler TT (2015) Do fatty acids affect fetal programming? **Journal of Health, Population and Nutrition** 33(1):1–9.
- Kassar-Duchossoy L, Gayraud-Morel B, Gomès D, Rocancourt D, Buckingham M, Shinin V, Tajbakhsh S (2004) Mrf4 determines skeletal muscle identity in Myf5:Myod double-mutant mice. **Nature** 431(7007):466–471.
- Kihara A (2012) Very long-chain fatty acids: Elongation, physiology and related disorders. **Journal of Biochemistry** 152(5):387–395.
- Kuang S, Kuroda K, Le Grand F, Rudnicki MA (2007) Asymmetric Self-Renewal and Commitment of Satellite Stem Cells in Muscle. **Cell** 129(5):999–1010.
- Ladeira MM, Schoonmaker JP, Gionbelli MP, Dias JCOO, Gionbelli TRS, Carvalho JRR, Teixeira PD (2016) Nutrigenomics and beef quality: A review about lipogenesis. **International Journal of Molecular Sciences** 17(6):1–21.
- Ladeira MM, Schoonmaker JP, Swanson KC, Duckett SK, Gionbelli MP, Rodrigues LM, Teixeira PD (2018). Review: Nutrigenomics of marbling and fatty acid profile in ruminant meat. **Animal** 12(s2):S282–S294.
- Lee Y, Kim SH, Lee YJ, Kang ES, Lee B, Cha, BS, Kim JW, Song DH, Lee, HC (2013) Transcription factor Snail is a novel regulator of adipocyte differentiation via inhibiting the expression of peroxisome proliferator - activated receptor γ . **Cellular and Molecular Life Sciences** 70:3959–3971.
- Light N, Champion AE, Voyle C, Bailey AJ (1985) The role of Epimysial, Perimysial and Endomysial Collagen in Determining Texture in Six Bovine Muscles. **Meat Science** 13:137–149.
- Lillycrop KA, Phillips ES, Jackson AA, Hanson MA, Burdge GC (2005) Dietary Protein Restriction of Pregnant Rats Induces and Folic Acid Supplementation Prevents Epigenetic Modification of Hepatic Gene Expression in the Offspring. **The Journal of Nutrition** 135:1382–1386.
- Lin Q, Gao Z, Alarcon RM, Ye J, Yun Z (2009) A role of miR-27 in the regulation of adipogenesis. **FEBS Journal** 276:2348–2358.
- Liu R, Pravia KAG (2010) Oxidative stress and glutathione in TGF- β -mediated fibrogenesis. **Free Radical Biology & Medicine** 48:1–15.

- Macdougald OA, Mandrup S (2002) Adipogenesis : forces that tip the scales. **Trends in Endocrinology and Metabolism** 13(1):5–11.
- Maltzahn JV, Chang NC, Bentzinger CF, Rudnicki MA, Von Maltzahn J, Chang NC, Bentzinger CF, Rudnicki MA (2012) Wnt signaling in myogenesis. **Trends in Cell Biology** 22(11):602–609.
- Marques RS, Cooke RF, Rodrigues MC, Brandão AP, Schubach KM, Lippolis KD, Moriel P, Perry GA, Lock A, Bohnert DW (2017) Effects of supplementing calcium salts of polyunsaturated fatty acids to late-gestating beef cows on performance and physiological responses of the offspring. **Journal of Animal Science** 95(12):5347–5357.
- Masroor S, Aalam MT, Khan O, Tanuj, GN, Gandham RK, Dhara SK, Gupta PK, Mishra BP, Dutt T, Singh G, Sajjanar BK (2022) Effect of acute heat shock on stress gene expression and DNA methylation in zebu (*Bos indicus*) and crossbred (*Bos indicus* × *Bos taurus*) dairy cattle. **International Journal of Biometeorology** 66(9):1797-1809.
- Massague J, Chen Y (2000) Controlling TGF- β signaling. **Genes & Development** 14:627–644.
- McCormick RJ (1999) Extracellular Modifications to Muscle Collagen : Implications for Meat Quality. **Poultry Science** 78(5):785–791.
- Micke GC, Sullivan TM, Soares Magalhaes, RJ, Rolls PJ, Norman ST, Perry VEA (2010) Heifer nutrition during early- and mid-pregnancy alters fetal growth trajectory and birth weight. **Animal Reproduction Science** 117(1–2):1–10.
- Millen DD, Arrigoni MDB (2013) Drivers of change in animal protein production systems: Changes from “traditional” to “modern” beef cattle production systems in Brazil. **Animal Frontiers** 3(3):56–60.
- Moriel P, Palmer EA, Harvey KM, Cooke RF (2021) Improving Beef Progeny Performance Through Developmental Programming. **Frontiers in Animal Science** 2:1–14.
- Nascimento KB, Galvão MC, Meneses JA, Moreira GM, Ramírez-Zamudio GD, Souza SP, Prezotto LD, Chalfun LH, Duarte MD, Casagrande DR, Gionbelli MP (2022) Effects of maternal protein supplementation at mid-gestation of cows on intake, digestibility, and feeding behavior of the offspring. **Animals** 12(20):2865.
- Nathanielsz PW, Poston L, Taylor PD (2007) In Utero Exposure to Maternal Obesity and Diabetes: Animal Models That Identify and Characterize Implications for Future Health. **Clinics in Perinatology** 34(2):515–526.
- National Research Council (NRC) (2001) Nutrient Requirements of Dairy Cattle. **National Academies Press**.
- Noble RC, Shand JH, Drummond JT, Moore AH (1978) " Protected " Polyunsaturated Fatty Acid in the Diet of the Ewe and the Essential Fatty Acid Status of the Neonatal Lamb. **The Journal of Nutrition** 108:1868–1876.

- Nudda A, Bee G, Correddu F, Lunesu MF, Cesarani A, Rassu SPG, Pulina G, Battacone G (2022) Linseed supplementation during uterine and early post-natal life markedly affects fatty acid profiles of brain, liver and muscle of lambs. **Italian Journal of Animal Science** 21(1):361–377.
- Owens FN, Gill DR, Secrist DS, Coleman SW (1995) Review of Some Aspects of Growth and Development of Feedlot Cattle. **Journal of Animal Science** 73:3152–3172.
- Paulino MF, Figueiredo DM, Moraes EHBK, Porto MO, Sales MFL, Acedo TS, Villela SDJ, Filho SCV (2004) Suplementação de bovinos em pastagens: uma visão sistêmica econômica. **Simpósio De Produção De Gado De Corte** 93–144.
- Perdiguerro E, Sousa-Victor P, Ballestar E, Muñoz-Cánoves P (2009) Epigenetic regulation of myogenesis. **Epigenetics** 4(8):541–550.
- Phillips T (2008) The Role of Methylation in Gene Expression. **Nature Education** 1(1):116.
- Platter WJ, Tatum JD, Belk KE, Chapman PL, Scanga JA, Smith GC (2003) Relationships of consumer sensory ratings, marbling score, and shear force value to consumer acceptance of beef strip loin steaks. **Journal of Animal Science** 81:2741–2750.
- Poleskaya A, Seale P, Rudnicki MA (2003) Wnt signaling induces the myogenic specification of resident CD45+ adult stem cells during muscle regeneration. **Cell** 113(7):841–852.
- Reddy PV, Morrill JL, Nagaraja TG (1994) Release of Free Fatty Acids from Raw or Processed Soybeans and Subsequent Effects on Fiber Digestibilities. **Journal of Dairy Science** 18:3410–3416.
- Rehfeldt C, Te Pas MF, Wimmers K, Brameld JM, Nissen PM, Berri C, Valente LM, Power DM, Picard B, Stickland NC, Oksbjerg N (2011) Advances in research on the prenatal development of skeletal muscle in animals in relation to the quality of muscle-based food. I. Regulation of myogenesis and environmental impact. **Animal**. 5(5):703-17.
- Reis RA, Ruggieri AC, Casagrande DR, Páscoa AG (2009) Suplementação da dieta de bovinos de corte como estratégia do manejo das pastagens. **Revista Brasileira de Zootecnia** 38(SUPPL. 1):147–159.
- Reynolds LP, Borowicz PP, Caton JS, Crouse MS, Dahlen CR, Ward AK (2019) Developmental Programming of Fetal Growth and Development. **Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice** 35(2):229–247.
- Rintisch C, Heinig M, Bauerfeind A, Schafer S, Mieth C, Patone G, Hummel O, Chen W, Cook S, Cuppen E, Colomé-Tatché M, Johannes F, Jansen RC, Nei H., Werner, M, Pravenec M, Vingron M, Hubner N (2014) Natural variation of histone modification and its impact on gene expression in the rat genome. **Genome Research** 24(6):942–953.

- Rodrigues LM, Schoonmaker JP, Resende FD, Siqueira GR, Neto OR, Gionbelli MP, Gionbelli TR, Ladeira MM (2020) Effects of protein supplementation on Nellore cows' reproductive performance, growth, myogenesis, lipogenesis and intestine development of the progeny. **Animal Production Science** 61(4):371-80.
- Roque-Jiménez JA, Oviedo-Ojeda MF, Whalin M, Lee-Rangel HA, Relling AE (2023) Ewe early gestation supplementation with eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids affects the liver, muscle, and adipose tissue fatty acid profile and liver mRNA expression in the offspring. **Journal of Animal Science** 101:1–16.
- Rosen ED, Macdougald OA (2006) Adipocyte differentiation from the inside out. **Nature Reviews Molecular Cell Biology** 7(12):885–896.
- Roth MT, Resende FD, Oliveira IM, Fernandes RM, Custódio L, Siqueira GR (2017) Does supplementation during previous phase influence performance during the growing and finishing phase in Nellore cattle? **Livestock Science** 204:122-128.
- Rudnicki MA, Jaenisch R (1995) The MyoD family of transcription factors and skeletal myogenesis. **BioEssays** 17(3):203–209.
- Russell RG, Oteruelo FT (1981) Anatomy and Embryology An Ultrastructural Study of the Differentiation of Skeletal Muscle in the Bovine Fetus. **Anatomy and embryology** 162:403–417.
- Serwatka CA, Griebel-Thompson AK, Eiden RD, Kong KL (2023) Nutrient supplementation during the prenatal period in substance-using mothers: A narrative review of the effects on offspring development. **Nutrients** 15(13):2990.
- Shao T, Ireland FA, McCann JC, Shike DW (2021) Effects of supplements differing in fatty acid profile to late gestational beef cows on cow performance, calf growth performance, and mRNA expression of genes associated with myogenesis and adipogenesis. **Journal of Animal Science and Biotechnology**. 12:1-5.
- Short BF (1955) Developmental modification of fleece structure by adverse maternal nutrition. **Australian Journal of Agricultural Research** 6(6):863-872.
- Short RE, Bellows RA, Staigmiller RB, Berardinelli JG, Custer EE (1976) Physiological mechanisms controlling anestrus and infertility in postpartum beef cattle. **Journal of Animal Science** 68(3):799-816.
- Soares MC (1986) Effect of dietary protected lipids on the essential fatty acid status of the newborn kid. **The Journal of nutrition** 116(8):1473-1479.
- Stevenson K, Lillycrop KA, Silver MJ (2020) Fetal programming and epigenetics. **Current Opinion in Endocrine and Metabolic Research** 13:1–6.
- Taplin DE, Everitt GC (1964) The influence of prenatal nutrition on postnatal performance of merino lambs. **InProc. Aust. Soc. Anim. Prod** (Vol. 5, pp. 72-81).

- Vernon RG, Barber MC, Travers MT (1999) Present and future studies on lipogenesis in animals and human subjects. **Proceedings of the Nutrition Society** 58(3):541–549.
- Vicente-García C, Hernández-Camacho JD, Carvajal JJ (2022) Regulation of myogenic gene expression. **Experimental Cell Research** 419:113299.
- Walsh FS, Celeste AJ (2005) Myostatin: a modulator of skeletal-muscle stem cells. **Biochemical Society Transactions** 33(6):1513–1517.
- Wang Y, Lin L, Huang Y, Sun J, Wang X, Wang P (2019) MicroRNA-138 Suppresses Adipogenic Differentiation in Human Adipose Tissue-Derived Mesenchymal Stem Cells by Targeting Lipoprotein Lipase. **Yonsei Medical Journal** 60(12):1187–1194.
- Weinhold, B (2006) **"Epigenetics: the science of change."** A160-A167.
- Wood JD, Enser M, Fisher AV, Nute GR, Sheard PR, Richardson RI, Hughes SI, Whittington FM (2008) Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. **Meat Science** 78:343–358.
- Wu Z, Rosen ED, Brun R, Hauser S, Adelmant G, Troy AE, Mckeeon C, Darlington GJ, Spiegelman BM (1999) Cross-Regulation of C/EBP α and PPAR γ Controls the Transcriptional Pathway of Adipogenesis and Insulin Sensitivity. **Molecular Cell** 3:151–158.
- Xie H, Lim B, Lodish HF (2009) MicroRNAs Induced During Adipogenesis that Accelerate Fat Cell Development Are Downregulated in Obesity. **Diabetes** 58:1050–1057.
- Xie Y, Mo C, Cai Y, Wang W, Hong X, Zhang K, Liu Q, Liu Y, Hong J, He T, Zheng Z, Mo W, Li B (2018) Pygo2 Regulates Adiposity and Glucose Homeostasis via β -Catenin–Axin2–GSK3 β Signaling Pathway. **Diabetes** 67:2569–2584.
- Yang K, Cai W, Xu J, Shi W (2012) Maternal high-fat diet programs Wnt genes through histone modification in the liver of neonatal rats. **Journal of Molecular Endocrinology** 49(2):107–114.
- Zaragosi L, Wdziekonski B, Brigand KL, Villageois P, Mari B, Waldmann R, Dani C, Barbry P (2011) Small RNA sequencing reveals miR-642a-3p as a novel adipocyte-specific microRNA and miR-30 as a key regulator of human adipogenesis. **Genome Biology** 12(7):R64.
- Zhang T, Cooper S, Brockdorff N, Ash L, Dot L (2015) The interplay of histone modifications – writers that read. **EMBO Reports** 16(11):1467–1481.
- Zhao WS, Hu SL, Yu K, Wang H, Wang W, Looor J, Luo J (2014) Lipoprotein lipase, tissue expression and effects on genes related to fatty acid synthesis in goat mammary epithelial cells. **International Journal of Molecular Sciences** 15(12):22757–22771.
- Zhu MJ, Ford SP, Nathanielsz PW, Du M (2004) Effect of maternal nutrient restriction in sheep on the development of fetal skeletal muscle. **Biology of Reproduction**, 71(6):1968–1973.

CAPÍTULO 2 - EFEITOS DA SUPLEMENTAÇÃO COM SAIS DE CÁLCIO DE ÓLEO DE SOJA EM NOVILHAS NELORE DURANTE OS TERÇOS MÉDIO E FINAL DA GESTAÇÃO SOBRE O DESEMPENHO DA PROGÊNIE

RESUMO – Objetivou-se com este estudo avaliar o desempenho da progênie de novilhas suplementadas sem sais de cálcio de óleo de soja (SSCOS) ou com sais de cálcio de óleo de soja (CSCOS) durante as fases de recria e terminação. O total de 82 novilhas Nelore prenhes [$385 \pm 49,0$ kg de peso corporal (PC)] que emprenharam aos 14 e 24 meses por meio de inseminação artificial em tempo fixo (IATF), foram designadas para este experimento aos 123 ± 13 dias de gestação. O delineamento foi em blocos casualizados e o PC inicial das novilhas foi utilizado como critério de blocagem. Todas as novilhas foram suplementadas, e os tratamentos consistiram na utilização de suplemento constituído com sais de cálcio de óleo de soja (CSCOS) e outro sem SCOS (SSCOS) que foi fornecido a 3 g/kg do PC, com 41 repetições por tratamento. Do parto até o desmame, todas as novilhas receberam suplemento SSCOS a 3 g/kg do PC. Após o desmame, 48 bezerros (24 fêmeas e 24 machos) foram selecionados para compor as fases de recria e terminação. Durante a fase de recria todos os animais receberam o mesmo suplemento na quantidade de 10 g/kg de PC e foram recriados por 252 dias em uma área composta pela forrageira *Urochloa brizantha* cv. Marandu. Ao final da fase de recria, os animais foram transferidos para o confinamento onde passaram pela fase de terminação. As fêmeas foram confinadas por 70 dias e os machos por 98 dias. Durante esta fase, ambos os sexos receberam a mesma dieta *ad libitum*. A progênie de novilhas suplementadas CSCOS foi 13,3 kg mais pesada ($P = 0,05$) e apresentou uma carcaça 10 kg mais pesada ($P = 0,01$) ao final da terminação em relação à progênie de novilhas SSCOS. A progênie CSCOS apresentou superiores ganho de peso médio diário (GMD) ($P = 0,03$) e consumo de matéria seca (CMS) ($P = 0,02$) em relação à progênie de novilhas suplementadas SSCOS ao longo da terminação. Maior área de olho de lombo (AOL) ($P = 0,01$) foi observada na progênie de novilhas CSCOS. Machos de novilhas CSCOS apresentaram maior marmoreio ($P = 0,05$) e maior expressão de mTOR ($P = 0,01$). Assim, a suplementação materna com sais de cálcio de óleo de soja durante os terços médio e final da gestação influencia o desempenho pós-desmame da progênie criada em um sistema de produção intensivo.

Palavras-chave: Nelore, programação fetal, sais de cálcio de óleo de soja, progênie, desempenho, características de carcaça.

EFFECTS OF SUPPLEMENTATION WITH SOYBEAN OIL CALCIUM SALTS IN NELLORE HEIFERS DURING THE MIDDLE AND LATE THIRD OF PREGNANCY ON OFFSPRING PERFORMANCE

ABSTRACT – The objective of this study was to evaluate the performance of the progeny of heifers supplemented without soybean oil calcium salts (SSCOS) or with soybean oil calcium salts (CSCOS) during the growth and finishing phases. A total of 82 pregnant Nellore heifers [385 ± 49.0 kg body weight (BW)] that became pregnant at 14 and 24 months of age by fixed-time artificial insemination (FTAI) were assigned to this experiment at 123 ± 13 days of gestation. The design was randomized blocks, and the initial BW of the heifers was used as the blocking criterion. All heifers were supplemented, and the treatments consisted of the use of a supplement consisting of soybean oil calcium salts (CSCOS) and another without SCOS (SSCOS) that was supplied at 3 g/kg BW, with 41 replicates per treatment. From calving to weaning, all heifers received SSCOS supplement at 3 g/kg BW. After weaning, 48 calves (24 females and 24 males) were selected to compose the growth and finishing phases. During the growth phase, all animals received the same supplement at 10 g/kg BW and were reared for 252 days in an area composed of the forage *Urochloa brizantha* cv. Marandu. At the end of the growth phase, the animals were transferred to the feedlot where they underwent the finishing phase. Females were confined for 70 days and males for 98 days. During this phase, both sexes received the same diet ad libitum. The progeny of CSCOS supplemented heifers were 13.3 kg heavier ($P = 0.05$) and had a carcass 10 kg heavier ($P = 0.01$) at the end of finishing compared to the progeny of SSCOS heifers. The CSCOS progeny had higher average daily weight gain (ADG) ($P = 0.03$) and dry matter intake (DMI) ($P = 0.02$) compared to the progeny of SSCOS supplemented heifers throughout finishing. Larger loin eye area (REA) ($P = 0.01$) was observed in the progeny of CSCOS heifers. Males of CSCOS heifers had greater marbling ($P = 0.05$) and greater mTOR expression ($P = 0.01$). Thus, maternal supplementation with calcium salts from soybean oil during the middle and final thirds of gestation influences post-weaning performance and meat quality of progeny raised in an intensive production system.

Keywords: Nellore, fetal programming, soybean oil calcium salts, progeny, performance, carcass characteristics

1. INTRODUÇÃO

A nutrição materna pode impactar diretamente o feto e sua vida pós-natal, visto que este depende exclusivamente de sua mãe para seu crescimento e desenvolvimento. Em novilhas, esta condição é ainda mais proeminente pelo fato desta categoria estar dispendendo energia para o seu próprio crescimento e o crescimento fetal (Larson, 2007). Numerosos estudos têm avaliado o impacto que a nutrição materna tem na vida futura da progênie. Entretanto, a maior parte destes estudos utilizou vacas multíparas *Bos taurus* (Marques et al., 2017; Brandão et al., 2020; Ricks et al., 2020), as quais se diferenciam de animais *Bos indicus* em várias funções incluindo fisiologia reprodutiva, necessidades nutricionais, comportamento social, sistema digestivo e composição corporal (Turner, 1980). Além disso, os efeitos da suplementação materna com ácidos graxos poli-insaturados têm demonstrado diferenças entre as progênies macho e fêmea (Brandão et al., 2020; Rosa-Velazquez et al., 2021). Essas diferenças observadas podem estar relacionadas a mecanismos epigenéticos, como a metilação do DNA, que atuam de forma sexualmente dimórfica durante o desenvolvimento fetal, modulando a expressão gênica (Gallou-Kabani et al., 2010).

Os ácidos graxos poli-insaturados modulam a expressão de genes envolvidos no crescimento e diferenciação celular, os quais podem alterar o metabolismo energético, proteico e/ou imunológico do animal (Roque-Jiménez et al., 2021). Entretanto, estes ácidos graxos podem apresentar toxidez às bactérias ruminais e afetar a biohidrogenação (Maia et al., 2007). Assim, a proteção destes por meio do processo de saponificação com sais de cálcio, além de evitar o efeito tóxico às bactérias, previne sua degradação no meio ruminal permitindo a absorção no intestino (Jenkins & Bridges, 2007).

A suplementação materna com ácidos graxos poli-insaturados fontes de ômega 6 protegidos da degradação ruminal (sais de cálcio de óleo de soja) durante o terço final da gestação aumentou o peso corporal e o peso de carcaça quente da progênie macho, mas não causou alterações nessas variáveis na progênie fêmea (Brandão et al., 2020). Por outro lado, Shao et al. (2021) não encontraram diferenças significativas entre o desempenho de novilhos filhos de mães suplementadas ou não com ácidos

graxos ômega 3 e 6 durante os últimos 70 dias da gestação. Adicionalmente, Marques et al. (2017) observaram aumentos em peso corporal, peso de carcaça quente e marmoreio na progênie de vacas suplementadas com ácidos graxos ômega 3 e 6 durante o terço final da gestação. Estes resultados sugerem que o tempo de suplementação e o perfil de ácidos graxos podem causar efeitos adversos na progênie.

Neste contexto, a hipótese do presente estudo é que a suplementação de novilhas Nelore com sais de cálcio de óleo durante os terços médio e final da gestação melhorará o desempenho e características de carcaça da progênie durante as fases de recria e terminação. Além disso, o presente estudo buscará avaliar estes efeitos na progênie macho e fêmea.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de acordo com as diretrizes do Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA) e foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA), registrado com o protocolo nº 0008/2020, do Departamento de Descentralização do Desenvolvimento (CEUA-DDD).

2.1. Localização e Clima

O estudo foi conduzido na unidade de pesquisa do Polo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios da Alta Mogiana (PRDTA – Alta Mogiana), em Colina – SP, órgão da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. O clima da região é do tipo AW (segundo classificação de Köppen) e o solo classificado como latossolo vermelho-escuro, fase arenosa, com topografia quase plana e de boa drenagem. Os dados climáticos foram obtidos de uma estação meteorológica localizada dentro da unidade experimental da fazenda (Figura 1). O estudo foi dividido em fases de recria e terminação.

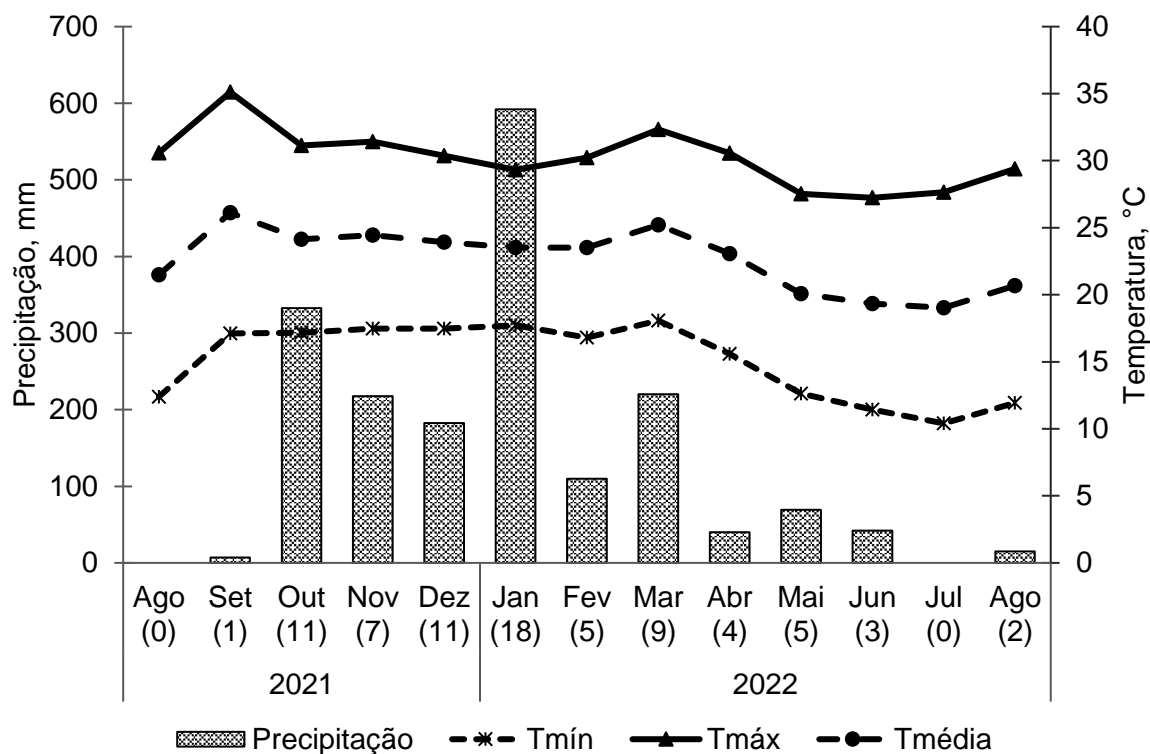


Figura 1. Precipitação, temperaturas máximas (Tmax), média (Tmédia) e mínima (Tmín) ao longo dos meses durante o experimento, sendo o número de dias com chuva entre parênteses. Fonte: Estação meteorológica da Apta/Colina.

2.2. Tratamentos

Os bezerros utilizados neste estudo foram avaliados em função dos tratamentos recebidos pelas mães durante os terços médio e final da gestação.

O total de 82 novilhas ($385 \pm 49,0$ kg) Nelore prenhes aos 14 (64 novilhas) e 24 (18 novilhas) meses de idade foram utilizadas. As novilhas foram provenientes da própria unidade de pesquisa e foram inseminadas com sêmen do mesmo touro (Paint Triunfo, CRV, Ribeirão Preto, SP, Brasil). No estudo, foram utilizadas novilhas prenhes de primeira e segunda inseminação artificial em tempo fixo (IATF).

O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados. As novilhas foram blocadas pelo peso e idade aos 89 ± 15 dias de gestação e designadas à dois tratamentos aos 123 ± 13 dias de gestação. Todas as novilhas foram suplementadas a 3 g/kg do PC, e os tratamentos consistiram na utilização de suplemento constituído com sais de cálcio de óleo de soja (CSCOS) e sem SCOS (SSCOS) (Tabelas 1 e 2), com 41 repetições por tratamento. Os animais foram

mantidos em dois piquetes lado a lado compostos por *Urochloa brizantha* cv. Marandu, área total de 51 ha, com trocas dos grupos de animais entre os piquetes a cada 21 dias para retirar possíveis diferenças de pasto.

Tabela 1. Composição dos suplementos fornecidos às novilhas Nelore prenhes durante os terços médio e final da gestação

	SSCOS ¹	CSCOS ²
<i>Ingredientes, g/kg de MS</i>		
Milho moído	340	300
Sorgo moído	335	275
Farelo de trigo	105	120
Farelo de soja	15	30
Premix	205	195
SCOS ³	0	80
<i>Composição nutricional</i>		
PB, g/kg	201	212
NDT, g/kg	600	670
EE, g/kg	35	95
<i>Quantidade por 100g de suplemento</i>		
Cálcio, g	2,00	2,00
Fósforo, g	0,70	0,67
Sódio, g	3,10	3,15
Magnésio, g	0,07	0,07
Enxofre, g	0,30	0,33
Cobalto, mg	0,50	0,50
Cobre, mg	7,50	7,50
Iodo, mg	0,50	0,50
Manganês, mg	13,30	13,33
Selênio, mg	0,30	0,30
Zinco, mg	33,30	33,32
<i>UI/kg</i>		
Vitamina A	1666,67	1666,66

¹SSCOS = sem sais de cálcio de óleo soja; ²CSCOS = com sais de cálcio de óleo de soja; ³SCOS = sais de cálcio de óleo de soja [BeefFat = sais cálcicos de ácidos graxos, ácido cítrico, B.H.T., propilenoglicol (Vaccinar®, Belo Horizonte, MG, Brasil)]; PB = proteína bruta; NDT = nutrientes digestíveis totais; EE = extrato etéreo.

O suplemento foi fornecido três vezes por semana (segunda, quarta e sexta; Moura et al., 2020), às 8h (Barbero et al., 2020). Para cálculo do fornecimento foi considerado o consumo semanal dividido por três. Todos os piquetes eram compostos por bebedouros e três cochos não cobertos (4 m x 1,10 m x 40 cm) para suplementação.

Tabela 2. Composição nutricional dos sais de cálcio de óleo de soja

Nutrientes	Concentração
Nutrientes digestíveis totais, %	160,00
Extrato etéreo, %	82,00
Energia Bruta, kcal/kg	7.730,00
Cálcio (mín./máx.), g/kg	75-125
Matéria mineral, g/kg	200,00
Umidade (máx.), g/kg	50,00
<i>Ácidos graxos, %</i>	
Ácido Láurico (C12:0)	-
Ácido Mirístico (C14:0)	0,15
Ácido Palmítico (C16:0)	14,92
Ácido Palmitoléico (C16:1)	0,11
Ácido Esteárico (C18:0)	3,25
Ácido Oleico (C18:1)	16,94
Ácido Linoleico (C18:2)	46,57
Ácido Alfa Linolênico (C18:3)	4,88

A aplicação dos tratamentos finalizou ao parto, e o par novilha/bezerro foi deslocado para outra área com a mesma forragem, onde permaneceram até que todas as matrizes tivessem parido. Após o parto, foi atribuído o mesmo manejo para todos os animais. Todas as novilhas receberam o suplemento SSCOS na quantidade de 3 g/kg do PC do parto até o desmame. Ao final da estação de parição, o total de 59 bezerros (machos = 25 e fêmeas = 34) estavam distribuídos dentro dos tratamentos da seguinte forma: SSCOS (machos = 12 e fêmeas = 17); CSCOS (machos = 13 e fêmeas = 17). Detalhes adicionais do manejo das mães durante a gestação e do par mãe/progênie do parto ao desmame podem ser encontrados no trabalho de Queiroz (2024).

Aos 240 dias de vida, os bezerros foram desmamados e alocados em uma área composta pela forrageira *Urochloa brizantha* cv. Marandu por 30 dias para adaptação à ausência materna. Após este período, 48 bezerros foram selecionados para compor as fases seguintes (recria e terminação). A seleção destes foi realizada mantendo-se a diferença encontrada entre os tratamentos para as variáveis peso corporal (PC),

área de olho de lombo (AOL), espessura de gordura subcutânea (EGS) e marmoreio durante a fase de cria (Queiroz, 2024).

2.3. Fase de recria

Aos 270 dias de vida, os 48 bezerros foram transferidos para uma área composta por doze piquetes de 1 ha cada e estabelecida com a forrageira *Urochloa brizantha* cv. Marandu. A fim de controlar potenciais diferenças entre os piquetes e evitar possíveis situações de dominância entre os animais, estes foram distribuídos nos piquetes a partir do peso corporal aos 270 dias de vida e tratamento. Os animais foram ranqueados em três grupos: pesados (16 animais = 8 fêmeas e 8 machos), medianos (16 animais = 8 fêmeas e 8 machos) e leves (16 animais = 8 fêmeas e 8 machos). A partir disso, cada grupo foi distribuído em 4 piquetes e cada piquete foi constituído por 4 animais do mesmo tratamento (Figura 2). Cada conjunto de 4 piquetes constituiu um grupo (bloco). Cada piquete continha um cocho e um bebedouro eletrônicos Intergado® (Cochos - AF 1000 JUNIOR/Bebedouros - Modelo WD 1000; Intergado®; Betim, Minas Gerais, Brasil).



Figura 2. Vista aérea do local (APTA/Colina). Área experimental destacada. SF = progênie fêmea de novilhas SSCOS; CF = progênie fêmea de novilhas CSCOS; SM = progênie macho de novilhas SSCOS; CM = progênie macho de novilhas CSCOS. Figuras geométricas com cor semelhante pertencem ao mesmo grupo (bloco).

O total de bezerros (24 machos e 24 fêmeas) Nelore, com PC médio inicial de $179 \pm 3,6$ kg e $190 \pm 4,1$ kg para fêmeas e machos, respectivamente, e idade média de 8 ± 1 meses foram recriados por um período total de 252 dias. A fase de recria foi dividida em dois períodos de 42 dias na época seca e transição seca-águas (84 dias) e quatro períodos de 42 dias na época das águas e transição águas-seca (168 dias) (Figura 3).

Foi adotado o método de pastejo em lotação contínua, com taxa de lotação variável, sendo os animais experimentais (*testers*) mantidos permanentemente nos piquetes em cada período. Para que a oferta de forragem fosse mantida homogênea para todos os tratamentos (Tabela 3), foram utilizados animais reguladores (contemporâneos aos demais), adicionados ou retirados (*put and take*; Mott & Lucas, 1952) dos piquetes.

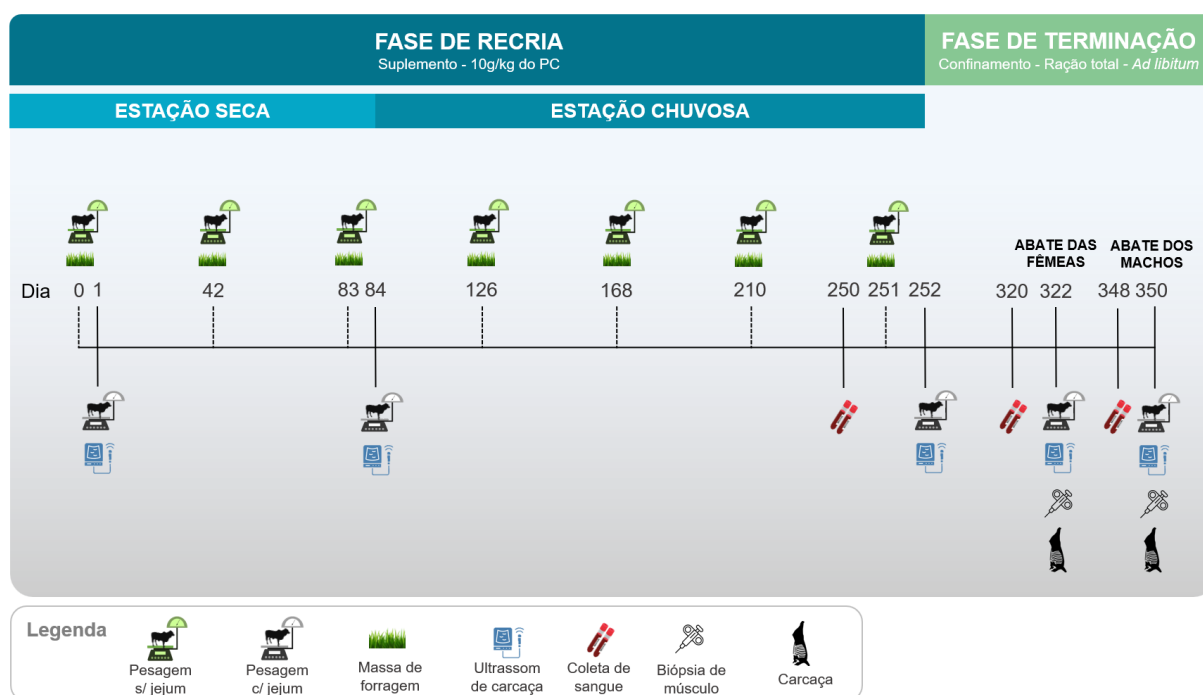


Figura 3. Cronograma experimental

Tabela 3. Características quantitativas do pasto e qualitativas da forragem (*Urochloa brizantha* cv. Marandu)

Variáveis	Tratamentos		Dias experimentais						
	SSCOS	CSCOS	0	42	84	126	168	210	252
<i>Componentes quantitativos do pasto</i>									
Densidade, kg MS/m ³	1,94	1,93	2,64	2,53	1,32	1,34	1,87	1,95	1,90
Folha:Colmo	2,02	1,87	1,24	1,02	2,89	3,34	2,05	1,71	1,37
Oferta de forragem, kg MS/kg PV	4,34	4,28	7,73	6,42	2,89	2,55	3,03	3,50	4,05
Oferta de folha verde, kg MSFV/kg PV	1,26	1,21	0,37	0,07	1,22	1,59	1,66	1,80	1,94
Oferta de folha verde + folha seca, kg MSFV + kg MSFS/kg PV	2,42	2,31	3,87	2,61	1,86	1,56	1,89	2,22	2,55
TL, UA/ha	3,25	3,40	1,96	2,14	2,90	3,65	4,34	3,98	4,29
<i>Composição química da forragem</i>									
MS, % MN	31,5	31,5	57,2	38,9	24,0	21,3	22,3	23,9	25,5
MM, % MS	7,4	7,5	7,3	6,6	7,8	8,3	7,3	7,4	7,5
MO, % MS	92,6	92,5	92,7	93,4	92,2	91,7	92,7	92,6	92,5
PB, % MS	10,7	10,5	5,7	10,6	12,0	11,9	12,1	11,6	11,0
FDN, % MS	67,0	67,1	70,6	72,7	63,7	63,9	64,4	65,7	67,0
FDA, % MS	31,0	30,9	33,0	36,8	28,5	29,1	29,1	29,1	29,1

SSCOS = Sem sais de cálcio de óleo de soja; CSCOS = Com sais de cálcio de óleo de soja; MSFV = Matéria seca de folha de verde; MSFS = Matéria seca de folha seca; TL = Taxa de lotação; MS = Matéria seca; MN = Matéria natural; MM = Matéria mineral; MO = Matéria orgânica; PB = Proteína bruta; FDN = fibra em detergente neutro; FDA = fibra em detergente ácido.

2.3.1. Avaliação quantitativa e qualitativa da forragem

A massa de forragem, composição morfológica e composição química da forragem foram avaliadas a cada período experimental (42 dias). As avaliações quantitativas do pasto foram realizadas utilizando-se o método da dupla amostragem (Sollenberger & Cherney, 1995), em que estimativas destrutivas foram associadas à avaliações da altura do dossel. Para determinação da massa de forragem de cada piquete, esta era associada às leituras de altura do dossel (50 pontos de altura normal e comprimida pelo uso do prato ascendente). Em cada piquete foram selecionados três pontos de altura mínima, média e alta (determinados em função de ± 1 desvio padrão da média de altura do piquete). Uma amostra de forragem de 0,25 m² de cada ponto selecionado foi coletada ao nível do solo e, posteriormente, uma subamostra era seca em estufa a 55°C por 72 horas para determinação da MS parcial. Após a obtenção da relação entre a altura do dossel e a massa de forragem nos pontos de coleta, foi determinada a seguinte regressão linear: MF (kg/ha) = a + b × h (cm); onde: MF = massa de forragem (kg/ha), h = altura comprimida do dossel (cm), a = intercepto da regressão e b = coeficiente angular da regressão. A partir da equação anterior, os valores de altura foram transformados em massa de forragem por hectare (Figura 4).

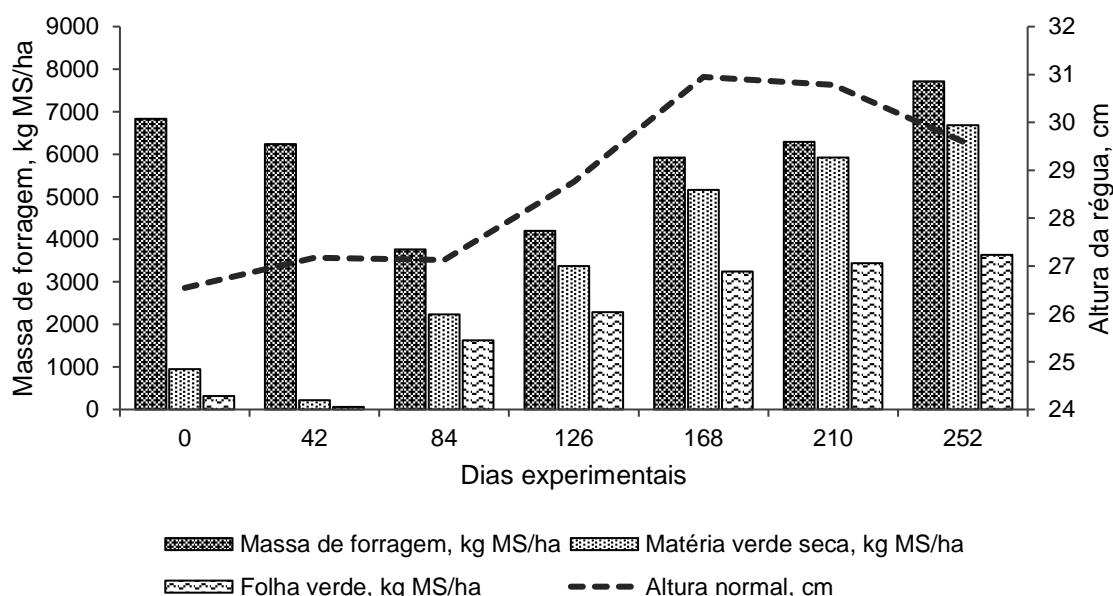


Figura 4. Características quantitativas do pasto (*Urochloa brizantha* cv. Marandu)

Para avaliação dos componentes morfológicos e estruturais do dossel forrageiro, as subamostras colhidas na altura média de cada piquete foram divididas em quatro frações: colmo verde, folha verde, colmo senescente e folha senescente (Figura 5). Para estimar o valor nutricional do pasto, foi realizado o pastejo simulado (De Vries, 1995) através da coleta do extrato pastejável a cada 42 dias. Após observação detalhada do comportamento de apreensão da forragem pelo animal, as amostras do extrato pastejável foram arrancadas entre o polegar e o indicador dobrado para trás, simulando o pastoreio dos animais o mais próximo possível. Posteriormente, as amostras foram parcialmente secas a 55°C, em estufa de ventilação forçada por 72 horas e, em seguida, moídas em moinho de facas tipo Willey, com peneiras de malha com crivo de 1 mm. As amostras de 1 mm foram usadas para determinar os teores de MS (método 934.01), matéria mineral (MM; método 942.05), proteína bruta (PB) pelo método Kjeldahl (método 984.13) e extrato etéreo (EE) pelo método Gold Fish (método 920.39), de acordo com a AOAC (2006). A matéria orgânica (MO) foi calculada como sendo: 100 - MM. A fibra em detergente neutro e ácido (FDN e FDA, respectivamente) foram analisadas seguindo a metodologia descrita por Robertson et al. (1981), usando o determinador de fibra (TE-149, Tecnal - SP) (Tabela 3).

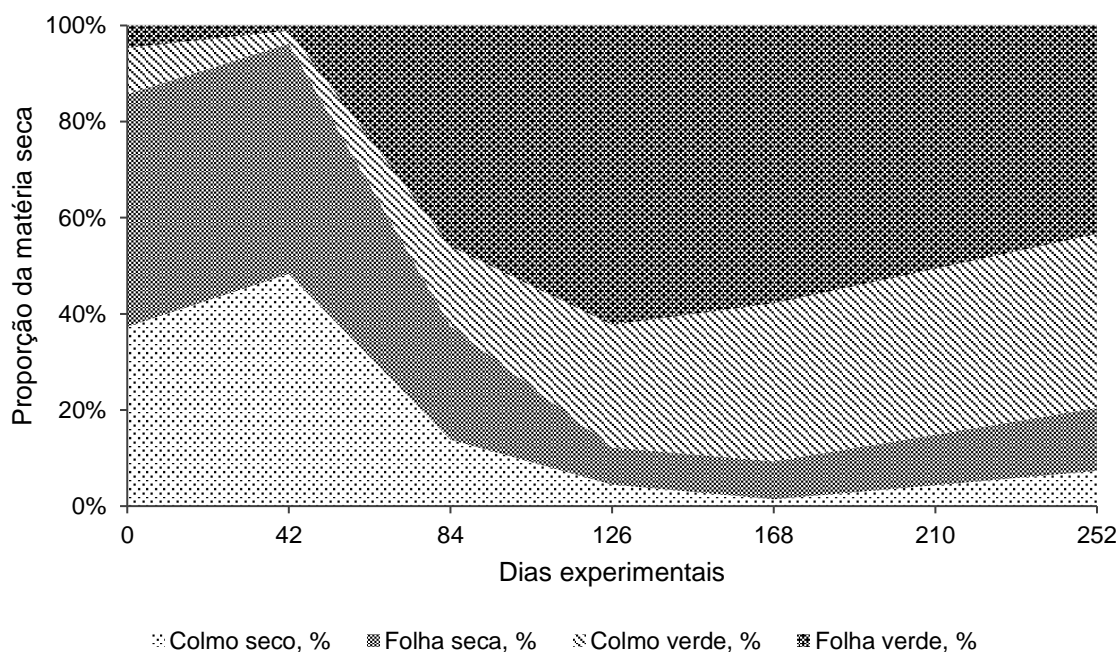


Figura 5. Composição morfológica da forragem (*Urochloa brizantha* cv. Marandu)

2.3.2. Manejo da progênie e suplementação

Todos os animais receberam o mesmo suplemento na quantidade de 10 g/kg do PC e este foi constituído de milho moído, farelo de soja e núcleo (Tabela 4). O suplemento foi fornecido diariamente às 08h00. Os animais receberam brinco auricular com transponder eletrônico (TAG) (FDX - ISO 11784/11785; Allflex; Joinville, SC, Brasil), que permitiu o registro individual de consumo diário de suplemento pelo sistema eletrônico Intergado®.

Todos os animais foram vermifugados com moxidectina 1% (Cydectin®, Zoetis) na dose de 1 ml para cada 50 kg de PC por via subcutânea, no desmame, ao final do primeiro e terceiro períodos de recria e no início da fase de terminação. Amostras do suplemento fornecido foram coletadas todas as semanas para avaliação da composição química.

Tabela 4. Composição do suplemento fornecido durante a fase de recria

Ingredientes (MN)	Concentração
Milho moído (g/kg)	500
Farelo de soja (g/kg)	400
Núcleo mineral ¹ (g/kg)	100
Composição nutricional	
Matéria seca (% MN)	88,9
Matéria orgânica (% MS)	89,2
Proteína bruta (% MS)	28,5
Fibra em detergente neutro (% MS)	16,3
Matéria mineral (% MS)	10,8
Extrato etéreo (% MS)	2,6

¹Núcleo mineral: Tecnocorte Pasto Concentrado HD (Vaccinar®, Belo Horizonte, MG, Brasil) - Níveis de garantia: B.H.T.: 500 mg/kg; Cálcio (mínimo): 100 g/kg; Cálcio (máximo): 180 g/kg; Cobalto: 12 mg/kg; Cobre: 340 mg/kg; Cromo: 6,70 mg/kg; Enxofre: 13,40 mg/kg; Extrato etéreo: 2.000 mg/kg; FDA: 55 g/kg; Fibra bruta: 35 g/kg; Flúor: 137 mg/kg; Fósforo: 17 g/kg; Iodo: 26,71 mg/kg; Magnésio: 3.800 mg/kg; Manganês: 315 mg/kg; Matéria mineral: 650 g/kg; Proteína bruta: 600 g/kg; NNP (nitrogênio não proteico) – equivalente proteico: 577,50 g/kg; Salinomicina: 300 mg/kg; Selênio: mg/kg; Sódio: 75 g/kg; Umidade: 120 g/kg; Vitamina A: 50.000 UI/kg; Zinco: 1.960 mg/kg.

2.4. Fase de terminação

Os animais (382 ± 6,0 kg e 441 ± 6,7 kg para fêmeas e machos não castrados, respectivamente) foram confinados aos 18-19 meses de idade e distribuídos em baias coletivas (12 m x 4 m) com 4 metros lineares de cocho e equipadas com bebedouro de concreto (2,88 m x 0,70 m) com capacidade de 655 L, compartilhado para duas

baías. A distribuição dos animais nas baías seguiu a blocagem realizada no início da fase de recria.

Todos os animais receberam a mesma dieta, sendo esta, formulada com o objetivo inicial de atender às exigências para ganho de peso médio diário (GMD) de 1,500 kg para os machos e 1,200 kg para as fêmeas de acordo com o software para a formulação Ração de Lucro Máximo (RLM, versão 3.3; Tabela 5).

Tabela 5. Composição das dietas ao longo da fase de terminação

Ingredientes	% na MS		
	Adaptação	Transição	Terminação
Silagem de milho	40,0	32,7	23,0
Milho moído	28,8	38,0	48,7
Farelo de soja	16,3	14,4	12,8
Polpa cítrica	10,0	10,0	10,0
Beef Fat ¹	2,0	2,0	2,5
Núcleo mineral ²	2,9	3,0	3,0
Valor nutricional da dieta			
Matéria seca (% MN)	69,0	72,5	77,2
Matéria orgânica (% MS)	92,7	93,0	94,7
Proteína bruta (% MS)	16,1	15,6	15,1
Fibra em detergente neutro (% MS)	30,4	27,6	23,8
Matéria mineral (% MS)	7,4	7,0	5,2
Extrato etéreo (% MS)	5,6	5,6	6,1

¹BeefFat = sais cálcicos de ácidos graxos, ácido cítrico, B.H.T., propilenoglicol (Vaccinar®, Belo Horizonte, MG, Brasil). ²Premix mineral: Tecnobov Conf R Ureia (Vaccinar®, Belo Horizonte, MG, Brasil). Níveis de garantia: B.H.T.: 100 mg/kg; Cálcio (mínimo): 50 g/kg; Cálcio (máximo): 70 g/kg; Cobalto: 9 mg/kg; Cobre: 224 mg/kg; Cromo: 4 mg/kg; Enxofre: 28 g/kg; Flúor: 114,57 mg/kg; Fósforo: 12 g/kg; Iodo: 12 mg/kg; Magnésio: 18 g/kg; Manganês: 450 mg/kg; Monensina: 400 mg/kg; Proteína bruta: 900 g/kg; NNP (nitrogênio não proteico) – equivalente proteico: 800 g/kg; Selênio: 3 mg/kg; Sódio: 25 g/kg; Vitamina A: 45.000 UI/kg; Vitamina D3: 4.500 UI/kg; Vitamina E: 150 UI/kg; Zinco: 900 mg/kg.

Durante os primeiros 14 dias de confinamento, foi fornecida uma dieta inicial de adaptação. A adaptação consistiu em um aumento gradativo do fornecimento da dieta, começando com 1,5% do PC e aumentando 0,25% do PC a cada três dias, até alcançar o consumo de 2% do PC. Ao final dessa fase de adaptação, o fornecimento da dieta aos animais foi realizado em função do consumo *ad libitum*. A dieta de transição teve composição média entre a dieta de adaptação e de terminação sendo fornecida entre o 15^o ao 21^o dia. Do 22^o ao 70^o dia foi fornecida a dieta de terminação para as fêmeas e do 22^o ao 98^o para os machos. A dieta foi fornecida aos animais uma vez ao dia, às 07h00, por meio de vagão de mistura total (Casale® Rotomix Express – São Carlos, SP, Brasil) com capacidade de 6,5 m³, dotado de balança para

pesagem dos ingredientes e distribuição nas baias. Para ajuste da oferta de alimentos e a avaliação do consumo de matéria seca, antes da alimentação da manhã foram recolhidas e pesadas as sobras do dia anterior, para serem mantidas entre 5 e 10% do fornecimento total.

2.5. *Avaliação do desempenho animal*

Os animais foram pesados após jejum de 16 horas de sólidos e líquido, no início do experimento, no dia 84 (fim da estação seca) e ao final da recria (início do confinamento), no dia 252. Após as pesagens, foi calculado o GMD (kg/dia), determinado pela diferença entre o peso corporal final e inicial dividido pelos intervalos entre uma pesagem e outra. Ao final dos períodos intermediários, a cada 42 dias, foram realizadas pesagens sem jejum para ajuste da oferta de forragem e suplemento. A taxa de lotação foi calculada com base no peso individual médio e o número de animais em cada piquete durante o período avaliado (UA/ha), considerando o peso dos animais *testes* e reguladores sendo a unidade animal (UA) definida como peso do animal com 450 kg.

Durante a fase de terminação, os animais foram pesados após jejum de 16 horas de sólidos e líquido ao final do confinamento, no D322 e D350 para fêmeas e machos, respectivamente. Após as pesagens foi calculado o GMD (kg/dia), determinado pela diferença entre o peso corporal final e inicial dividido pelo intervalo entre uma pesagem e outra.

Ao longo da fase de terminação, antes do fornecimento da dieta, pela manhã, as sobras eram retiradas diariamente dos cochos e pesadas a fim de que fosse calculado o consumo de cada baia e pudesse ser estimado o consumo médio dos animais experimentais. Com base no peso médio do lote, foi estimado o consumo em relação ao peso corporal, em porcentagem. Dividindo o GMD pelo consumo médio foi calculada a eficiência alimentar (EA).

2.6. *Ultrassonografia de carcaça*

A ultrassonografia de carcaça foi realizada em todos os animais *testers* nos mesmos dias das pesagens corporais em jejum, por técnico habilitado utilizando

ultrassom (Aloka SSD 500 V, sonda de 17 cm 3,5 MHz, UST-5049-3.5). Foram mensuradas a área de olho de lombo (AOL; cm²), espessura de gordura subcutânea (EGS; mm), espessura de gordura na picanha (EGP8; mm), grau de marmoreio (escore de 1 a 10) e ratio (relação entre largura e comprimento do músculo *Longissimus dorsi*). As imagens foram tomadas entre a 12^a e 13^a costelas, transversal ao músculo *Longissimus dorsi*, de modo que a EGS fosse medida no terço médio distal da área de olho de lombo. Já a medida da EGP8 foi feita longitudinalmente à posição do corpo na região da garupa entre o íleo e ísquio. Todas as medidas foram realizadas após limpeza da pele e uso de óleo vegetal como acoplante acústico.

2.7. Coleta de Sangue

O sangue foi colhido em todos os animais (24 fêmeas e 24 machos) ao final das fases de recria (dia 250) e terminação (dias 320 e 348 para fêmeas e machos, respectivamente). As amostras foram colhidas sem jejum prévio. O sangue foi coletado através de punção venosa direto da jugular, com contenção suave, em dois tubos de 9 ml, com ativador de coágulo e devidamente identificado. Para obtenção do plasma sanguíneo, as amostras foram centrifugadas 2500 rpm por 15 minutos a 4°C, e em seguida foram transferidos 1,5 ml de plasma para micro tubos de 2 ml. Após pipetagem as amostras foram imediatamente congeladas a -20°C para posteriores análises.

As análises do perfil metabólico sanguíneo (glicose, colesterol, triglicerídeos, ureia, creatinina, proteínas totais) dos animais foram realizadas no Laboratório de Pesquisa em Bovinos de Leite da Universidade de São Paulo – USP (Pirassununga – SP). Para as análises foram utilizados kits comerciais da empresa Bioclin® para glicose (referência K082-3), colesterol (referência K083-2), triglicerídeos (referência K117-3), ureia (referência K056-1), creatinina (referente K222-1) e proteínas totais (referência K031-1) sendo as leituras realizadas em analisador automático de bioquímica (SX-260 Fully Automatic Chemistry Analyzer SINNOWA®).

2.8. Biópsia de músculo e expressão gênica

A biópsia foi realizada em todos os animais *testers* ao final da fase de terminação. A região lombar direita na altura entre a 12^a e 13^a costelas foi raspada e

realizada anestesia local no sítio de incisão com 5 ml de lidocaína HCl 2% sem epinefrina (Lidovet, Laboratório Bravet LTDA., Rio de Janeiro - Brasil), sendo 4 ml aplicados de forma intradérmica e 1 ml intramuscular. Após a limpeza do local da biópsia, uma incisão de 1 cm foi feita com bisturi e uma agulha de biópsia estéril de Bergstrom foi usada para obter em torno de 150 mg de tecido muscular. A amostra foi imediatamente transferida para nitrogênio líquido e armazenada em ultra freezer a -80 °C para posterior análise da expressão gênica.

2.8.1. Extração do mRNA

O RNA total foi extraído utilizando o Reagente TRIzol (Invitrogen Co., Carlsbad, CA, EUA), de acordo com as instruções do fabricante. A concentração de RNA foi determinada utilizando um espectrofotômetro NanoDrop One^C (Thermo Scientific, Carlsbad, CA, EUA), e a integridade foi avaliada usando o padrão de bandas de rRNA 28S/18S em gel de agarose a 1%. O RNA isolado foi tratado com DNase I (Thermo Scientific, Carlsbad, CA, EUA) para eliminar o DNA genômico das amostras.

2.8.2. Síntese de cDNA e qPCR

A síntese de cDNA foi realizada utilizando o Kit de Transcrição Reversa de cDNA de Alta Capacidade (Applied BiosystemsTM, #4368814, Foster City, CA, EUA) de acordo com o protocolo do fabricante. Pares de iniciadores para os quatro genes alvo, incluindo *PPAR γ* , Alvo Mecanístico de Rapamicina Quinase (*mTOR*), Diferenciação Miogênica 1 (*MYOD1*), Miogenina (*MYOG*) e dois genes de referência, Actina Beta (*ACTB*) e Gliceraldeído-3-fosfato Desidrogenase (*GAPDH*), foram projetados usando o programa de software online primer3Plus (Untergasser et al., 2007). A especificidade dos primers desenhados foi avaliada utilizando o software PrimerBlast do banco de dados NCBI (Ye et al., 2012). As sequências iniciadoras utilizadas estão listadas na Tabela 6.

Análises quantitativas de mRNAs foram realizadas em um termociclador CFX96TM (Bio-Rad) em reações de 10 μ L contendo 2x qPCRBIO SyGreen Mix (PCRBiosystems, Londres, Reino Unido), 1 μ L de cDNA e primers diretos e reversos em concentrações otimizadas determinadas para cada gene (Tabela 6). Os

parâmetros de ciclagem para *ACTB*, *GAPDH*, *PPAR γ* , *mTOR*, *MYOD1* e *MYOG* foram de 2 min a 95 °C, seguidos de 40 ciclos de 5 s a 95 °C e 30 s a 60 °C. Todas as reações foram seguidas por análise da curva de fusão para confirmar a amplificação dos produtos de cDNA individuais. Todas as amostras foram amplificadas pelo menos duas vezes a partir da mesma preparação de RNA e os valores médios foram considerados. A eficiência da RT-PCR foi avaliada para cada gene com base na inclinação de um modelo de regressão linear usando um conjunto de amostras de cDNA como modelo de PCR em uma série de séries de diluição de 3 vezes. A eficiência da amplificação por PCR foi calculada usando a seguinte equação: $E = 10^{(-1/\text{inclinação})}$ (Pfaffl, 2001).

Tabela 6. Sequências de nucleotídeos dos iniciadores de PCR utilizadas para testar a expressão gênica utilizando PCR quantitativa em tempo real.

Genes ¹	NCBI	Primer de sequência (5' – 3')	Tamanho do amplicon (bp)	Eficiência de amplificação
<i>PPARγ</i>	XM_019984995.1	GGATCAGAAACAGACAAGTTGTTCA GCCAAAACGGCATCTCTGTG	149	1,97
<i>mTOR</i>	XM_019976328.1	ATGTGCGAACACAGCAACAC CCTTTCACGTTCCCTCTCCCC	146	2,04
<i>MYOD1</i>	XM_019975543.1	ACGACCGCACTTACTACAGC TGGAGATGCGCTCCACGAT	105	1,89
<i>MYOG</i>	XM_027564159.1	AGTGAATGCAGCTCCCATAGC GCAGATTGTGGGCGTCTGTA	118	1,87
<i>GAPDH</i>	XM_019960295.1	AGCCGTAACCTTCTGTGCTGT GAAGGGGTCATTGATGGCGA	148	1,89
<i>ACTB</i>	NM_173979.3	ATATTGCTGCGCTCGTGGTC GTACGAGTCCTTCTGGCCCAT	149	2,05

¹ Concentração final na reação qPCR = 300 nM

Os valores de quantificação relativa (RQ) foram determinados usando uma variação do método Pfaffl $E_{\text{alvo}}^{\Delta C_t \text{ alvo}} (\text{calibrador } C_t - \text{Amostra } C_t)$ (Pfaffl, 2001). A expressão relativa de mRNA foi expressa em uma escala logarítmica e a média do grupo controle foi escolhida como calibrador. A expressão gênica relativa foi normalizada para a média geométrica dos níveis de transcrição dos genes de referência *ACTB* e *GAPDH* para identificar diferenças entre grupos, como descrito anteriormente (Hellemans et al., 2007; Vandesompele et al., 2002).

2.9. Abates e características de carcaça

Ao final do experimento, todos os animais (machos e fêmeas) foram abatidos. Os abates foram realizados em frigorífico comercial na cidade de Barretos/SP distante 20 km da APTA-Colina/SP. Os procedimentos de abate seguiram o Regulamento de Inspeção Sanitária e Industrial para Produtos de Origem Animal (Brasil, 1997).

Após o abate, a gordura renal, pélvica e inguinal (GRPI) foi coletada e pesada. Todas as carcaças foram identificadas e pesadas, sendo obtido o peso de carcaça quente (PCQ) e o rendimento de carcaça [$RC = (PCQ/PC) * 100$]. Após 24 horas na câmara fria, as carcaças foram novamente pesadas obtendo assim, o peso de carcaça fria (PCF) e perdas por resfriamento. Na meia-carcaça direita, foi realizada a pesagem dos cortes primários (dianteiro, ponta de agulha e traseiro) conforme preconiza a PADRONIZAÇÃO DE CORTES DE CARNE BOVINA, aprovada pela Portaria SIPA nº 5, de 08 de novembro de 1988, e calculadas as proporções em relação ao PCF. Para a obtenção do rendimento do ganho (RG) e ganho em carcaça total, determinou-se o peso de carcaça inicial (PCQ inicial) conforme equação proposta por Benedeti et al. (2021): $PCQ\ inicial = -11 + P + [(0,609 + G + B) * PCj(D0)]$, $R^2 = 0,98$, onde P = efeito da planta de abate (abate comercial = -10,98 e abate experimental = 0); G = efeito de sexo (se macho castrado = 0; macho inteiro = 0,008169 e novilha = -0,00612); B = efeito de genótipo (se Zebu = 0, cruzado de corte = -0,01595 e cruzado de leite = -0,03301) e $PCj(D0)$ = peso corporal em jejum inicial (D0). As fêmeas apresentaram PCj médio no D0 = 382 ± 29 kg e PCQ inicial estimada = 209 ± 18 kg e $RC = 54,5 \pm 0,5\%$ e os machos apresentaram PCj médio no D0 = 441 ± 33 kg e PCQ inicial estimada = 250 ± 20 kg e $RC = 56,7 \pm 0,4\%$. Assim, o RG foi calculado pela fórmula: $RG = [(PCQ\ final - PCQ\ inicial) / (PCj\ final - PCj(D0)) * 100]$, de acordo com Sampaio et al. (2017). O ganho em carcaça total (GCT) foi obtido pela diferença entre a PCQ final em relação ao PCQ inicial.

2.10. Mensurações na carcaça

Nas meia-carcaças direitas resfriadas, foram realizadas, com uso de fita métrica, as mensurações do comprimento e profundidade da carcaça e comprimento e perímetro do coxão. O comprimento da carcaça foi mensurado trançando-se uma

linha imaginária entre a borda cranial da primeira costela em seu ponto médio até o bordo anterior da sínfise isquiopubiana. A profundidade da carcaça foi obtida a partir da mensuração da distância do bordo anterior da cartilagem externa até a borda inferior do canal medular entre a 5ª e 6ª vértebra dorsal. Obteve-se o comprimento do coxão a partir da mensuração da distância entre o centro da parte interna da articulação tarso-metatarsiana até o bordo anterior da sínfise isquiopubiana. O perímetro do coxão foi mensurado com o auxílio de uma fita métrica passando pelo bordo anterior da sínfise isquiopubiana.

2.11. Análises químicas

As amostras de pastejo simulado da forragem, suplemento e dietas totais foram analisadas para quantificação dos teores de MS (método 934.01), MM (método 942.05) e PB (método 984.13) de acordo com AOAC (2006). Além destas, as amostras de suplemento e dietas totais foram analisadas quanto aos teores de EE (método 920.39; AOAC, 2006). A MO foi calculada como a diferença entre os teores de MS e MM. Os conteúdos de fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido foram quantificados por análise sequencial (Robertson et al., 1981).

O teor de água na seção HH foi estimado pela equação: Água = 100 – MS (%), em que, o teor de MS foi obtido pela diferença entre o peso da amostra *in natura* e o peso após secagem em liofilizador de bancada. Os teores de proteína, extrato etéreo e matéria mineral da seção HH foram quantificados segundo métodos propostos pela AOAC (2006).

As concentrações de água, proteína, extrato etéreo e matéria mineral na carcaça e corpo vazio foram estimadas segundo equações propostas por Silva et al. (2016):

$$\begin{aligned} \% EE_{\text{carc}} &= 4,96 + 0,54 \times \% EE_{\text{HH}} \\ \% PB_{\text{carc}} &= 4,05 + 0,78 \times \% PB_{\text{HH}} \\ \% MM_{\text{carc}} &= 2,88 + 0,50 \times \% MM_{\text{HH}} \\ \% A_{\text{carc}} &= 34,97 + 0,45 \times \% A_{\text{HH}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% EE_{\text{CVZ}} &= 4,56 + 0,60 \times \% EE_{\text{HH}} \\ \% PB_{\text{CVZ}} &= 4,96 + 0,76 \times \% PB_{\text{HH}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% MM_{CVZ} &= 2,54 + 0,39 \times \% MM_{HH} \\ \% A_{CVZ} &= 31,42 + 0,51 \times \% A_{HH} \end{aligned}$$

Em que, EE_{carc} = extrato etéreo na carcaça; PB_{carc} = proteína bruta na carcaça; MM_{carc} = matéria mineral na carcaça; A_{carc} = água na carcaça; EE_{HH} = extrato etéreo na seção HH; PB_{HH} = proteína bruta na seção HH; MM_{HH} = matéria mineral na seção HH; A_{HH} = água na seção HH; EE_{CVZ} = extrato etéreo no corpo vazio; PB_{CVZ} = proteína bruta no corpo vazio; MM_{CVZ} = matéria mineral no corpo vazio; A_{CVZ} = água no corpo vazio.

2.12. Análises estatísticas

Todos os dados foram analisados em delineamento em blocos casualizados, sendo avaliados os efeitos de sexo, sais de cálcio de óleo de soja (SCOS) e a interação SCOS x sexo da progênie. Onde o peso corporal dos animais ao início da recria e o tratamento foram considerados os fatores de blocagem e os animais a unidade experimental. Todas as variáveis avaliadas na fase de recria, com exceção dos parâmetros sanguíneos foram analisadas como medida repetida no tempo utilizando o *statement* REPEATED do SAS, sendo os fatores presença ou ausência de SCOS, sexo, período e suas interações considerados como efeito fixo e o bloco como efeito aleatório. A melhor estrutura de (co)variância foi escolhida com base no menor valor do critério de Akaike corrigido.

Para as variáveis avaliadas durante a fase de terminação, os fatores (sexo e presença ou ausência de SCOS) foram considerados como efeito fixo e o bloco como efeito aleatório. Os dados foram submetidos a análise de variância pelo procedimento PROC MIXED do SAS (2012-2020, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA; version 9.0) e as médias comparadas pelo teste Tukey a 0,05 de probabilidade para ocorrência do erro tipo I. Tendências foram consideradas entre 0,05 e 0,10.

As análises estatísticas de todas as variáveis foram realizadas com prévia comprovação dos supostos matemáticos de distribuição normal (Teste de ShapiroWilk) e homocedasticidade das variâncias (Teste de Bartlett).

O peso inicial das mães ($387 \pm 13,94$ kg) foi adicionado ao modelo como covariável de todas as variáveis. Como inicialmente tinham animais filhos de novilhas

de 1ª e 2ª IATF, esse efeito também foi adicionado ao modelo. O peso inicial das novilhas (covariável) e as IATFs (1ª ou 2ª) foram incluídos nas análises de todas as variáveis e removidos do modelo se $P \geq 0,05$.

3. RESULTADOS

3.1. Fase de recria

Houve tendência ($P = 0,10$) para o peso corporal da progênie ao longo da fase de recria, em que a progênie de novilhas CSCOS foi 4,3 kg mais pesada em relação à progênie de novilhas SSCOS. Não houve efeito de interação ($P > 0,05$) entre os fatores (SCOS \times S; SCOS \times P; SCOS \times S \times P) sobre o PC, GMD, CSUP e características de carcaça em nenhum dos períodos de avaliação (Tabelas 7 e 8). Houve efeito de interação ($P < 0,05$) entre os fatores S \times P sobre o PC e GMD ao longo dos períodos de avaliação (Figura 6).

Em relação às características de carcaça durante a fase de recria houve efeito da suplementação materna gestacional ($P < 0,05$) sobre a AOL (SSCOS = 54,9 cm² e CSCOS = 57,07 cm²) e AOL/100 kg (SSCOS = 19,5 cm² e CSCOS = 20,0 cm²). Houve efeito de interação ($P < 0,01$) entre os fatores SCOS \times S sobre a EGS e EGS/100 kg. No qual, progênie fêmea de novilhas que receberam suplementação SSCOS na gestação apresentaram maior EGS e EGS/100 kg quando comparadas às fêmeas filhas de novilhas CSCOS (Figura 7). Além deste, houve também efeito de interação ($P < 0,05$) entre os fatores S \times P sobre a AOL, marmoreio, EGS, EGS/100 kg e EGP8 (Figura 8).

Houve tendência na elevação da concentração de glicose plasmática na progênie de novilhas CSCOS ($P = 0,09$). A suplementação materna com SCOS não alterou as concentrações plasmáticas de colesterol, triglicerídeos, ureia, creatinina e proteínas totais em sua progênie ao final da fase de recria ($P > 0,05$; Tabela 9). Fêmeas apresentaram maior concentração de colesterol em relação aos machos ao final da fase de recria ($P = 0,01$).

Tabela 7. Médias de peso corporal (PC), ganho de peso médio diário (GMD) e consumo de suplemento durante a fase de recria da progênie de novilhas Nelore suplementadas SSCOS e CSCOS durante os terços médio e final da gestação

Variáveis	Período	Tratamentos				EPM	p-valor						
		Fêmea		Macho			SCOS	S	P	SCOS x S	SCOS x P	S x P	SCOS x S x P
		SSCOS	CSCOS	SSCOS	CSCOS								
PC, kg	D0	178	180	185	195								
	D84	245	247	260	267	9,73	0,10	<0,01	<0,01	0,30	0,84	<0,01	0,84
	D252	382	383	439	443								
GMD, kg/dia	D0 a D84	0,79	0,80	0,90	0,86								
	D85 a D252	0,82	0,81	1,06	1,05	0,04	0,70	<0,01	0,01	0,63	0,96	0,04	0,73
	D0 a D252	0,80	0,81	0,98	0,95								
CSUP, kg/dia	D0 a D42	1,94	1,81	2,02	2,12								
	D43 a D84	2,13	2,12	2,24	2,39								
	D85 a D126	2,62	2,64	2,73	2,80								
	D127 a D168	3,02	2,98	3,21	3,07	0,14	0,98	<0,01	<0,01	0,70	0,95	0,63	0,89
	D169 a D210	3,30	3,34	3,63	3,60								
	D211 a D252	3,68	3,70	4,08	4,06								
	D0 a D252	2,78	2,76	2,99	3,01								

SSCOS = Sem sais de cálcio de óleo de soja; CSCOS = Com sais de cálcio de óleo de soja; CSUP = consumo de suplemento; EPM = Erro padrão da média; SCOS = sais de cálcio de óleo de soja; S = Sexo; P = Período.

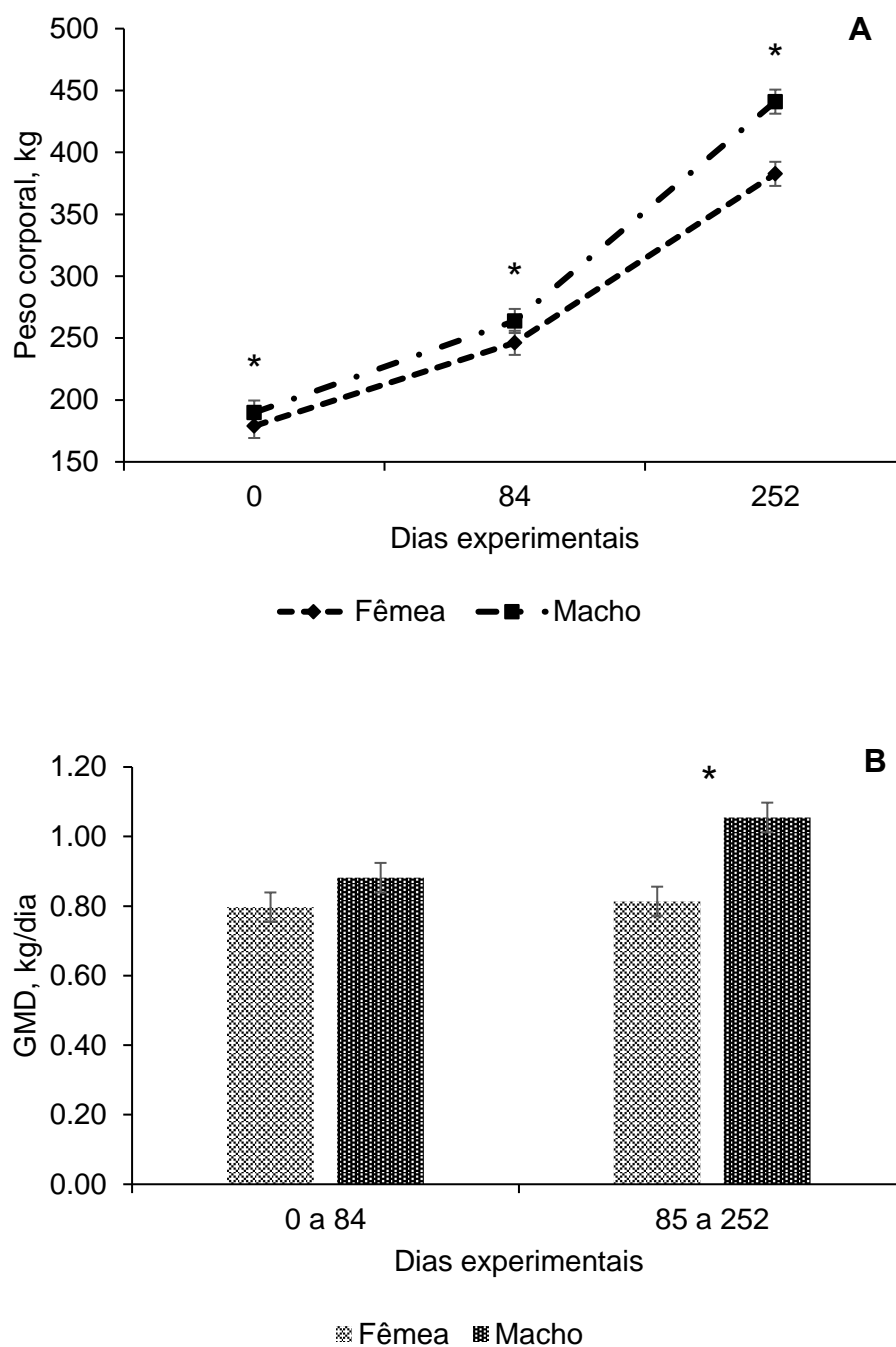


Figura 6. Peso corporal (A) e ganho de peso médio diário (GMD) (B) durante a fase de recria da progênie de novilhas Nelore suplementadas sem sais de cálcio de óleo de soja (SSCOS) e com sais de cálcio de óleo de soja (CSCOS) durante os terços médio e final da gestação. * = diferença significativa ($P \leq 0,05$); † = tendência estatística ($0,05 < P \leq 0,10$).

Tabela 8. Características de carcaça durante a fase de recria da progênie de novilhas Nelore suplementadas SSCOS e CSCOS durante os terços médio e final da gestação

Variáveis	Período	Tratamentos				EPM	p-valor						
		Fêmea		Macho			SCOS	Sexo	Período	SCOS x S	SCOS x P	S x P	SCOS x S x P
		SSCOS	CSCOS	SSCOS	CSCOS								
AOL, cm ²	D0	39,9	41,8	40,9	44,2	1,45	0,01	<0,01	<0,01	0,48	0,42	0,01	0,51
	D84	48,9	50,5	49,4	54,5								
	D252	70,7	72,1	79,3	79,3								
AOL/100 kg	D0	20,8	21,3	20,2	21,0	0,38	0,05	0,02	<0,01	0,57	0,54	0,92	0,55
	D84	18,5	18,8	17,3	18,6								
	D252	20,3	20,7	19,8	19,8								
Ratio	D0	0,44	0,46	0,46	0,46	0,01	0,22	0,76	0,01	0,54	0,92	0,47	0,83
	D84	0,45	0,45	0,44	0,45								
	D252	0,47	0,49	0,47	0,47								
Marmoreio	D0	2,18	2,12	2,20	2,32	0,10	0,83	<0,01	<0,01	0,17	0,82	<0,01	0,99
	D84	2,63	2,47	2,37	2,43								
	D252	3,45	3,40	2,55	2,73								
EGS, mm	D0	2,12	2,13	2,01	2,11	0,12	0,11	<0,01	<0,01	0,01	0,15	<0,01	0,20
	D84	2,95	2,62	2,43	2,54								
	D252	6,24	5,39	3,61	3,67								
EGS/100 kg	D0	1,11	1,08	0,99	1,01	0,04	0,08	<0,01	<0,01	0,01	0,36	<0,01	0,28
	D84	1,12	0,97	0,84	0,89								
	D252	1,80	1,55	0,90	0,93								
EGP8, mm	D0	3,58	3,55	3,56	3,92	0,12	0,78	<0,01	<0,01	0,39	0,65	<0,01	0,95
	D84	4,50	4,34	3,65	3,85								
	D252	9,24	9,13	5,07	5,07								

SSCOS = Sem sais de cálcio de óleo de soja; CSCOS = Com sais de cálcio de óleo de soja; EPM = Erro padrão da média; SCOS = Sais de cálcio de óleo de soja; S = Sexo; P = Período; AOL = Área de olho de lombo; AOL/100 kg = Área de olho de lombo por 100 kg de peso corporal; Ratio = Razão entre altura e largura da área de olho de lombo; EGS = Espessura de gordura subcutânea; EGS/100 kg = Espessura de gordura subcutânea por 100 kg de peso corporal; EGP8 = espessura de gordura na picanha.

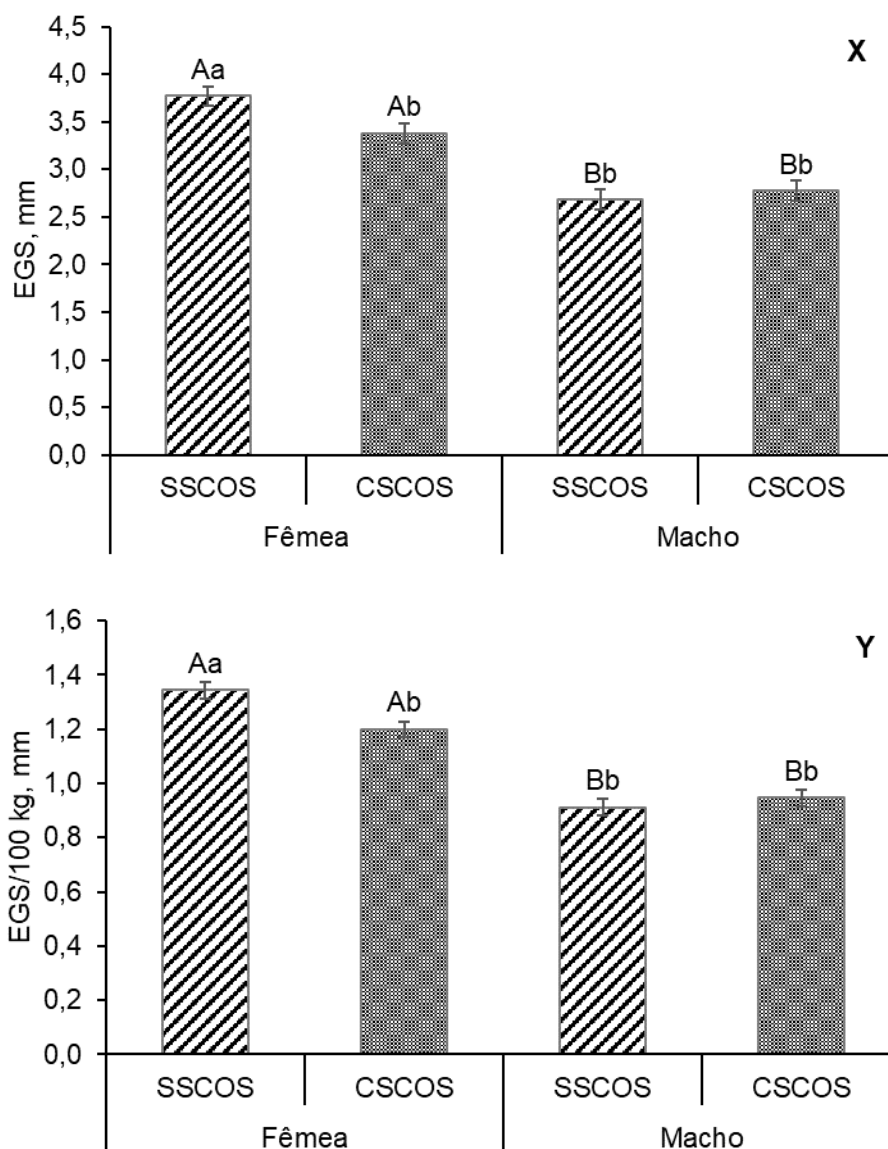


Figura 7. Espessura de gordura subcutânea (EGS) (X) e EGS/100 kg de peso corporal (Y) da progênie de novilhas Nelore suplementadas sem sais de cálcio (SSCOS) e com sais de cálcio de óleo de soja (CSCOS) durante os terços médio e final da gestação. Médias seguidas de letras maiúsculas iguais para sexo (Fêmea vs Macho) dentro de suplementação e letras minúsculas iguais para suplementação (SSCOS vs CSCOS) dentro de sexo não diferem entre si pelo teste Tukey ($P > 0,05$).

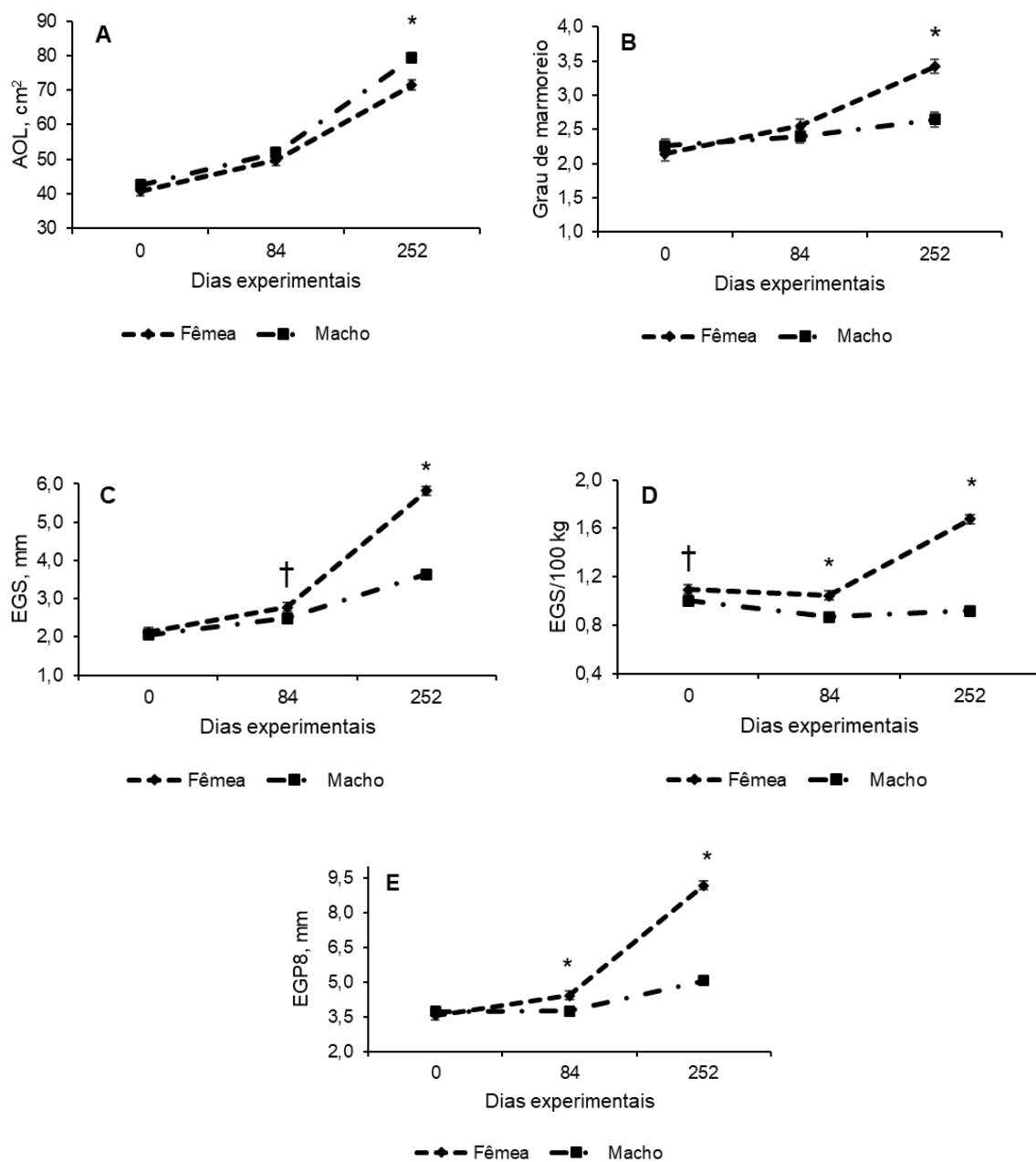


Figura 8. Área de olho de lombo (AOL) (A), marmoreio (B), espessura de gordura subcutânea (EGS) (C), EGS/100 kg de peso corporal (D) e espessura de gordura na picanha (EGP8) (E) da progênie de novilhas Nelore suplementadas sem sais de cálcio (SSCOS) e com sais de cálcio de óleo de soja (CSCOS) durante os terços médio e final da gestação.

* = diferença significativa ($P \leq 0,05$); † = tendência estatística ($0,05 < P \leq 0,10$).

Tabela 9. Concentrações plasmáticas ao final da fase de recria da progênie de novilhas Nelores suplementadas sem sais de cálcio (SSCOS) e com sais de cálcio de óleo de soja (CSCOS) durante os terços médio e final da gestação.

Variáveis	Tratamentos				EPM	p-valor		
	Fêmea		Macho			SCOS	Sexo	SCOS x S
	SSCOS	CSCOS	SSCOS	CSCOS				
Glicose, mg/dl	88,7	99,3	89,1	94,9	9,35	0,09	0,64	0,58
Colesterol, mg/dl	117	112	96,2	97,8	6,00	0,70	0,01	0,49
Triglicerídeos, mg/dl	28,7	30,2	27,9	24,7	1,24	0,55	0,07	0,14
Ureia, mg/dl	45,0	41,3	40,0	39,7	1,82	0,36	0,15	0,44
Creatinina, mg/dl	1,42	1,39	1,47	1,49	0,03	0,79	0,06	0,45
Proteínas totais, g/dl	6,24	6,42	6,24	6,47	0,21	0,28	0,88	0,88

EPM = Erro padrão da média; SCOS = Sais de cálcio de óleo de soja; S = Sexo.

3.2. Fase de terminação

O peso corporal da progênie ao final da fase de terminação foi maior ($P = 0,05$) para aquela que a mãe recebeu suplementação CSCOS ($522 \text{ kg} \pm 12,4 \text{ kg}$), quando comparada a que a mãe foi suplementada SSCOS ($508 \pm 12,4 \text{ kg}$). Houve efeito de nutrição materna gestacional com SCOS ($P = 0,03$) sobre o GMD ao longo da terminação, progênie do tratamento CSCOS ganharam em média $0,170 \text{ kg/dia}$ a mais quando comparada à progênie SSCOS. Progênie CSCOS apresentou maior CMS diário (SSCOS = $8,50 \pm 0,22 \text{ kg}$ e CSCOS = $9,53 \pm 0,25 \text{ kg}$; $P = 0,02$) e maior CMS em porcentagem do PCj em comparação à progênie SSCOS (Tabela 10; SSCOS = $1,86 \pm 0,07\%$ e CSCOS = $2,04 \pm 0,07\%$; $P = 0,04$). Não houve efeito da suplementação materna gestacional com SCOS ($P > 0,05$) sobre a EA, PCQ inicial, EAc, RG e RC da progênie. Houve efeito da nutrição materna gestacional sobre o PCQ final ($P = 0,01$) e tendências foram observadas para o GCT ($P = 0,08$) e o GMDc ($P = 0,07$; Tabela 10). Fêmeas apresentaram menores PCj final, CMS em kg/dia, PCQ inicial e final, GCT, GMDc e rendimento de carcaça quando comparadas aos machos ($P < 0,05$; Tabela 10). Não houve efeito de interação ($P > 0,05$) entre os fatores (SCOS x S)

sobre o desempenho e consumo dos animais durante a fase de terminação (Tabela 10).

Não houve efeito de suplementação materna com SCOS ou interação SCOS × S sobre as concentrações plasmáticas das progênies ao final da fase de terminação ($P > 0,05$; Tabela 11). Fêmeas apresentaram maior concentração plasmática de ureia em relação aos machos ao final da fase de terminação ($P = 0,01$).

Houve efeito ($P = 0,01$) de suplementação materna gestacional CSCOS sobre a AOL (SSCOS = $88,1 \pm 0,69 \text{ cm}^2$ e CSCOS = $92,3 \pm 0,69 \text{ cm}^2$) ao final da fase de terminação. Fêmeas apresentaram maiores EGS, EGS/100 kg e espessura de gordura na picanha ($P < 0,05$) quando comparadas aos machos ao final da fase de terminação (Tabela 12). Não houve efeito de sexo sobre a AOL/100 kg ($P = 0,11$). Machos apresentaram maior AOL ($P < 0,01$) quando comparados às fêmeas. Não houve efeito de interação ($P > 0,05$) entre os fatores (SCOS × S) sobre a AOL, AOL/100 kg, ratio, EGS, EGS/100 kg e espessura de gordura na picanha. Houve efeito ($P = 0,05$) de interação SCOS × S sobre o marmoreio ao final da fase de terminação. No qual, machos que as mães foram suplementadas CSCOS apresentaram maior marmoreio quando comparados a machos que as mães foram suplementadas SSCOS (Figura 9).

A interação SCOS × S apresentou uma tendência ($P = 0,10$) sobre a porcentagem de dianteiro, onde, machos que as mães foram suplementadas CSCOS apresentaram maior proporção de dianteiro em relação a machos filhos de novilhas SSCOS (Tabela 13). Não houve efeito ($P > 0,05$) de SCOS e interação SCOS × S sobre as porcentagens de traseiro e ponta de agulha.

Tabela 10. Desempenho e consumo durante a fase de terminação da progênie de novilhas Nelore suplementadas SSCOS e CSCOS durante os terços médio e final da gestação

Variáveis	Tratamentos				EPM	p-valor		
	Fêmea		Macho			SCOS	Sexo	SCOS x S
	SSCOS	CSCOS	SSCOS	CSCOS				
<i>Desempenho</i>								
PCj final, kg	460	468	557	576	12,4	0,05	<0,01	0,36
GMD, kg/dia	1,12	1,31	1,21	1,36	0,05	0,03	0,27	0,77
<i>Consumo</i>								
CMS, kg/dia	8,20	8,96	8,80	10,09	0,23	0,02	0,03	0,41
CMS, % do PCj	1,95	2,09	1,77	1,98	0,07	0,04	0,07	0,57
EA, kg GMD/kg CMS	0,14	0,15	0,14	0,13	0,00	0,28	0,12	0,11
<i>Carcaça</i>								
PCQ inicial, kg	208	209	249	251	7,39	0,61	<0,01	0,81
PCQ final, kg	254	262	327	339	5,09	0,01	<0,01	0,61
Ganho, kg	46,7	52,7	77,3	88,6	2,58	0,08	<0,01	0,54
GMDc, kg/dia	0,67	0,75	0,79	0,90	0,03	0,07	0,02	0,75
EAc, kg GMDc/kg CMS	0,08	0,09	0,09	0,09	0,00	0,23	0,69	0,28
Rendimento do ganho, %	60,6	62,8	65,3	67,8	1,43	0,45	0,15	0,96
Rendimento de carcaça, %	55,5	55,9	58,5	59,1	0,26	0,34	<0,01	0,88

SSCOS = Sem sais de cálcio de óleo de soja; CSCOS = Com sais de cálcio de óleo de soja; EPM = Erro padrão da média; SCOS = Sais de cálcio de óleo de soja; S = Sexo; PCj = peso corporal em jejum; GMD = ganho de peso médio diário; GMDc = ganho de peso médio diário de carcaça; CMS = consumo de matéria seca; EA = eficiência alimentar; PCQ = peso de carcaça quente; EAc = eficiência alimentar de carcaça.

Tabela 11. Concentrações plasmáticas ao final da fase de terminação da progênie de novilhas Nelores suplementadas sem sais de cálcio (SSCOS) e com sais de cálcio de óleo de soja (CSCOS) durante os terços médio e final da gestação.

Variáveis	Tratamentos				EPM	p-valor		
	Fêmea		Macho			SCOS	Sexo	SCOS × S
	SSCOS	CSCOS	SSCOS	CSCOS				
Glicose, mg/dl	100,3	88,7	77,0	92,0	7,23	0,82	0,20	0,11
Colesterol, mg/dl	255	214	197	216	17,9	0,59	0,21	0,18
Triglicerídeos, mg/dl	30,5	25,1	23,5	26,1	1,91	0,50	0,18	0,09
Ureia, mg/dl	55,2	44,2	36,2	36,5	2,74	0,14	0,01	0,13
Creatinina, mg/dl	1,82	1,68	1,98	1,95	0,09	0,42	0,08	0,59
Proteínas totais, g/dl	6,98	6,16	6,10	6,13	0,28	0,28	0,22	0,24

EPM = Erro padrão da média; SCOS = Sais de cálcio de óleo de soja; S = Sexo.

Tabela 12. Características de carcaça ao final da fase de terminação da progênie de novilhas Nelore suplementadas SSCOS e CSCOS durante os terços médio e final da gestação

Variáveis	Tratamentos				EPM	p-valor		
	Fêmea		Macho			SCOS	Sexo	SCOS x S
	SSCOS	CSCOS	SSCOS	CSCOS				
AOL, cm ²	77,2	82,8	99,0	101,9	0,69	0,01	<0,01	0,31
AOL/100 kg	16,3	17,3	17,3	17,4	0,27	0,11	0,11	0,18
Ratio	0,56	0,56	0,53	0,54	0,01	0,88	0,06	0,66
EGS, mm	9,67	8,57	6,25	6,57	0,32	0,41	<0,01	0,15
EGS/100 kg	2,03	1,79	1,09	1,13	0,09	0,26	<0,01	0,15
EGP8, mm	14,58	14,34	8,95	9,11	0,32	0,92	<0,01	0,61

SSCOS = Sem sais de cálcio de óleo de soja; CSCOS = Com sais de cálcio de óleo de soja; EPM = Erro padrão da média; SCOS = Sais de cálcio de óleo de soja; S = Sexo; AOL = Área de olho de lombo; AOL/100 kg = Área de olho de lombo por 100 kg de peso corporal; Ratio = Razão entre altura e largura da área de olho de lombo; EGS = Espessura de gordura subcutânea; EGS/100 kg = Espessura de gordura subcutânea por 100 kg de peso corporal; EGP8 = espessura de gordura na picanha.

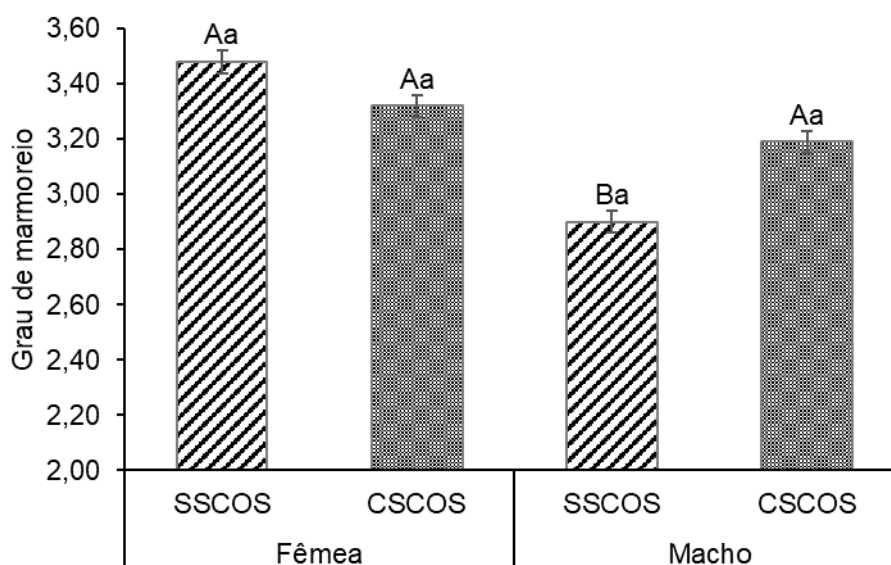


Figura 9. Marmoreio ao final da fase de terminação da progênie de novilhas Nelore suplementadas sem sais de cálcio de óleo de soja (SSCOS) e com sais de cálcio de óleo de soja (CSCOS) durante os terços médio e final da gestação.

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais para sexo (Fêmea vs Macho) dentro de suplementação e letras minúsculas iguais para suplementação (SSCOS vs CSCOS) dentro de sexo não diferem entre si pelo teste Tukey ($P > 0,05$).

A suplementação com SCOS durante a gestação não alterou o comprimento, profundidade, GRPI e perda por resfriamento (PPR) nas carcaças da progênie ($P > 0,05$). Houve efeito de interação ($P = 0,02$) SCOS \times S sobre o perímetro de coxão da progênie (Figura 10). No qual, fêmeas filhas de novilhas CSCOS apresentaram maior perímetro de coxão quando comparadas às fêmeas filhas de novilhas SSCOS.

Não houve efeito ($P > 0,05$) da suplementação materna gestacional com SCOS e interação SCOS \times S sobre as composições químicas da seção HH, carcaça e corpo vazio da progênie (Tabela 14). Fêmeas apresentaram menores teores de água e proteína na seção HH, na carcaça e no corpo vazio quando comparadas aos machos ($P < 0,01$). Machos apresentaram menores teores de extrato etéreo na seção HH, na carcaça e no corpo vazio quando comparados às fêmeas ($P < 0,01$). Não houve diferença estatística entre os sexos nos teores de matéria mineral na seção HH, na carcaça e no corpo vazio ($P > 0,05$; Tabela 14).

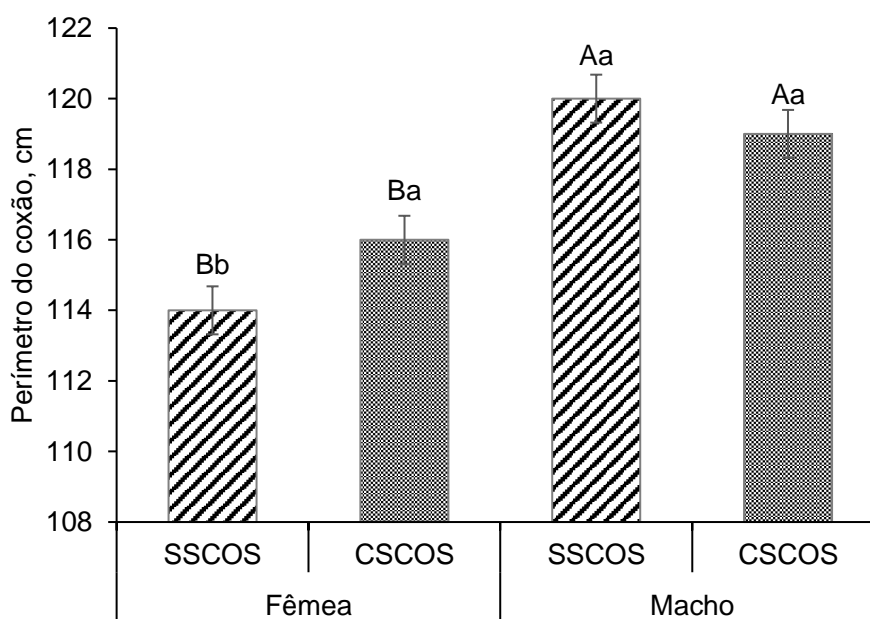


Figura 10. Perímetro do coxão da progênie de novilhas Nelore suplementadas sem sais de cálcio de óleo de soja (SSCOS) e com sais de cálcio de óleo de soja (CSCOS) durante os terços médio e final da gestação.

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais para sexo (Fêmea vs Macho) dentro de suplementação e letras minúsculas iguais para suplementação (SSCOS vs CSCOS) dentro de sexo não diferem entre si pelo teste Tukey ($P > 0,05$).

Tabela 13. Cortes primários e características de carcaça da progênie de novilhas Nelore suplementadas SSCOS e CSCOS durante os terços médio e final da gestação

Variáveis	Tratamentos				EPM	p-valor		
	Fêmea		Macho			SCOS	Sexo	SCOS x S
	SSCOS	CSCOS	SSCOS	CSCOS				
<i>Cortes primários, %</i>								
Dianteiro	41,7	41,4	44,9	46,2	0,37	0,27	<0,01	0,10
Traseiro	44,9	45,4	44,6	43,6	0,37	0,62	0,05	0,11
Ponta de agulha	13,5	13,2	10,5	10,3	0,19	0,29	<0,01	0,87
<i>Carcaça</i>								
Comprimento, cm	132	130	140	137	1,78	0,20	<0,01	0,62
Profundidade, cm	41,6	41,8	42,8	42,4	0,68	0,87	0,24	0,69
GRPI, kg	3,25	3,82	4,38	4,04	0,30	0,71	0,07	0,19
PPR, %	0,84	0,96	0,71	0,72	0,16	0,61	0,18	0,68

SSCOS = Sem sais de cálcio de óleo de soja; CSCOS = Com sais de cálcio de óleo de soja; EPM = Erro padrão da média; SCOS = Sais de cálcio de óleo de soja; S = Sexo; GRPI = Gordura renal, pélvica e inguinal; PPR = Perda por resfriamento.

Tabela 14. Composição química da seção HH, carcaça e corpo vazio de animais filhos de novilhas Nelore suplementadas SSCOS e CSCOS durante os terços médio e final da gestação

Variáveis	Tratamentos				EPM	p-valor		
	Fêmea		Macho			SCOS	Sexo	SCOS x S
	SSCOS	CSCOS	SSCOS	CSCOS				
<i>Seção HH, %</i>								
Água	42,8	44,1	52,7	51,7	0,75	0,89	<0,01	0,23
Proteína	14,9	15,5	17,7	17,7	0,30	0,41	<0,01	0,47
Matéria mineral	6,62	6,93	7,26	6,90	0,26	0,94	0,34	0,29
Extrato etéreo	35,6	33,5	22,5	23,7	0,95	0,67	<0,01	0,14
<i>Carcaça, %</i>								
Água	54,2	54,8	58,7	58,2	0,34	0,89	<0,01	0,23
Proteína	15,7	16,1	17,9	17,9	0,24	0,41	<0,01	0,48
Matéria mineral	6,19	6,35	6,51	6,33	0,13	0,92	0,34	0,29
Extrato etéreo	24,2	23,1	17,1	17,7	0,52	0,67	<0,01	0,14
<i>Corpo Vazio, %</i>								
Água	53,3	53,9	58,3	57,8	0,38	0,90	<0,01	0,23
Proteína	16,3	16,7	18,4	18,4	0,23	0,41	<0,01	0,47
Matéria mineral	5,12	5,24	5,37	5,23	0,10	0,95	0,34	0,29
Extrato etéreo	25,9	24,7	18,0	18,8	0,57	0,67	<0,01	0,14

SSCOS = Sem sais de cálcio de óleo de soja; CSCOS = Com sais de cálcio de óleo de soja; EPM = Erro padrão da média; SCOS = Sais de cálcio de óleo de soja; S = Sexo.

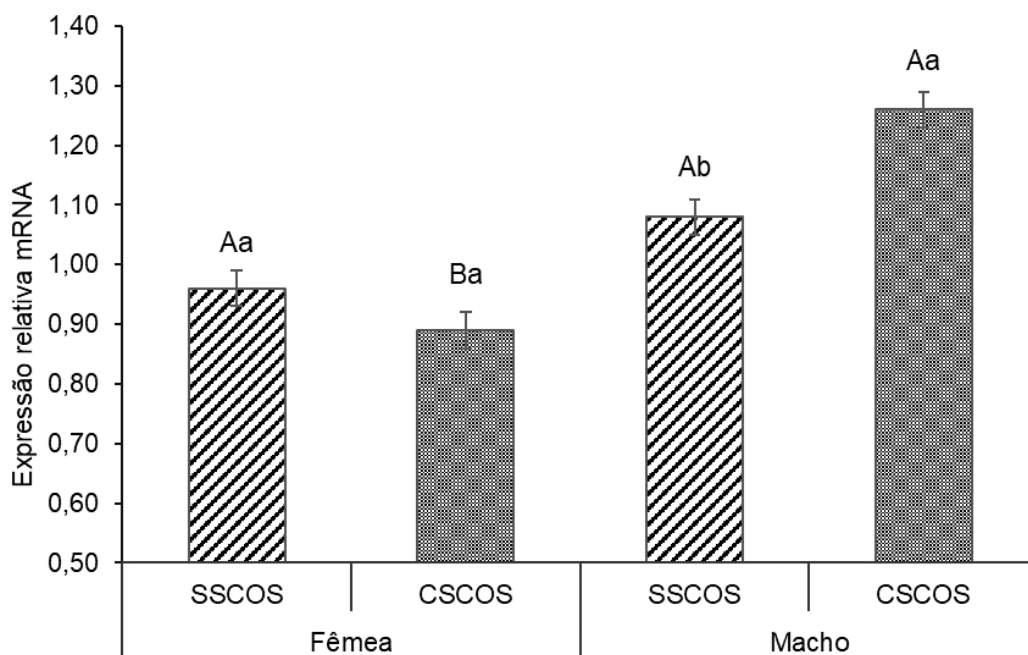


Figura 11. Expressão gênica da mTOR no músculo esquelético da progênie de novilhas Nelore suplementadas sem sais de cálcio de óleo de soja (SSCOS) e com sais de cálcio de óleo de soja (CSCOS) durante os terços médio e final da gestação. Médias seguidas de letras maiúsculas iguais para sexo (Fêmea vs Macho) dentro de suplementação e letras minúsculas iguais para suplementação (SSCOS vs CSCOS) dentro de sexo não diferem entre si pelo teste Tukey ($P > 0,05$).

A suplementação com SCOS de novilhas Nelore nos terços médio e final da gestação alterou a expressão gênica do mTOR no músculo da progênie, em que machos filhos de novilhas CSCOS apresentaram maior expressão relativa de mRNA deste gene quando comparados a machos SSCOS ($P < 0,01$; Figura 11). A expressão dos genes $PPAR\gamma$, MYOD1 e MYOG no músculo da progênie não foi alterada ($P > 0,05$) pela suplementação materna com SCOS durante os terços médio e final da gestação (Tabela 15).

Tabela 15. Perfil de expressão gênica detectado por PCR em tempo real na expressão de mRNA muscular de animais filhos de novilhas Nelore suplementadas SSCOS e CSCOS durante os terços médio e final da gestação.

Genes	Tratamentos				EPM	p-valor		
	Fêmea		Macho			SCOS	Sexo	SCOS x S
	SSCOS	CSCOS	SSCOS	CSCOS				
<i>PPARγ</i>	0,96	1,88	1,18	1,18	0,30	0,25	0,69	0,65
<i>MYOD1</i>	0,96	0,77	1,36	1,35	0,61	0,39	0,01	0,34
<i>MYOG</i>	1,10	1,31	1,35	1,35	0,32	0,37	0,76	0,73

SSCOS = Sem sais de cálcio de óleo de soja; CSCOS = Com sais de cálcio de óleo de soja; EPM = Erro padrão da média; SCOS = Sais de cálcio de óleo de soja; S = Sexo.

4. DISCUSSÃO

Estudos avaliando os efeitos da suplementação materna com ácidos graxos poli-insaturados durante a gestação sobre a vida futura da progênie têm sido conduzidos na última década (Marques et al., 2017; Martin et al., 2018; Coleman et al., 2018; Brandão et al., 2020; Ricks et al., 2020; Rosa-Velazquez et al., 2021; Shao et al., 2021; Miranda et al., 2023). Contudo, os efeitos encontrados no par mãe/progênie ainda são divergentes, os quais podem ser explicados por fatores como dosagem e fonte dos ácidos graxos poli-insaturados (AGPI), período de fornecimento e categoria animal (Nickles et al., 2019; Rosa-Velazquez et al., 2021). Portanto, foi assumido no presente estudo que a suplementação de novilhas Nelore durante os terços médio e final da gestação com SCOS melhoraria o desempenho pós-natal da progênie através da modulação de genes envolvidos na miogênese e adipogênese.

4.1. Fase de recria

É importante destacar que os resultados observados na progênie no presente estudo podem ser atribuídos ao efeito da suplementação materna com SCOS, uma vez que, durante ambas as fases (recria e terminação), os animais foram submetidos a manejo e alimentação similares. A tendência em superior peso corporal encontrada na progênie de novilhas CSCOS ao longo da fase de recria se tornou estatisticamente diferente na fase de terminação. O maior peso corporal ao longo da fase de recria da progênie de novilhas CSCOS pode ser atribuído à maior AOL encontrada nestes animais (Rehfeldt et al., 1999; Pinheiro et al., 2012). Elevada AOL é o resultado do aumento no tamanho e/ou número de células musculares (Rehfeldt et al., 1999). Estudo anterior demonstrou que a suplementação com sais de cálcio de óleo de soja durante o terço final da gestação de vacas multíparas aumentou a AOL na progênie e este aumento foi explicado pela capacidade dos ácidos graxos poli-insaturados em modificarem genes miogênicos no feto (Brandão et al., 2020). No presente estudo, o fato da suplementação materna com SCOS ter ocorrido a partir do quarto mês de gestação das novilhas, a modulação de genes miogênicos pode ter afetado tanto a hiperplasia quanto a hipertrofia muscular, visto que este período coincide com a miogênese secundária (Du et al., 2010).

Adicionalmente, outro fator que pode ter impactado em superior crescimento muscular na progênie de mães CSCOS foi a maior concentração de glicose encontrada no plasma destas mães 29 dias antes do parto (Queiroz, 2024). O maior aporte energético materno refletiu em superior concentração plasmática de glicose na progênie ao final da fase de recria. Roque-Jiménez et al. (2023), ao suplementarem ovelhas com ácidos graxos poli-insaturados durante o primeiro terço da gestação, observaram maior expressão de GLUT1 no fígado da progênie na fase de terminação. GLUT1 é um transportador essencial para o influxo de glicose no meio intracelular. Estes autores justificaram a maior expressão deste transportador pela maior permeabilidade da membrana celular em decorrência da suplementação com ácidos graxos poli-insaturados. Além disso, a expressão de GLUT1 é diretamente influenciada pelos níveis de glicose plasmáticos (Al-Khalili et al., 2003), justificando a maior entrada de glicose nas células musculares da progênie de novilhas CSCOS e consequente superior crescimento muscular.

A diferença encontrada para a variável EGS entre os tratamentos na progênie fêmea pode ser um indício da supressão de genes envolvidos na lipogênese hepática (e.g. esteroil-CoA dessaturase) (Jump et al., 1994) de fêmeas filhas de novilhas CSCOS. Dietas com maiores concentrações de ácidos graxos poli-insaturados podem incorporar superiores concentrações de C18:3 n-3 no tecido adiposo resultando em menos triglicerídeos totais nos tecidos pela redução da lipogênese no tecido adiposo subcutâneo (Yang et al., 2010). A diferença na EGS encontrada entre as fêmeas, mas não entre os machos pode ser explicada pela diferença entre a expressão de esteroil-CoA dessaturase, o qual é mais expresso em fêmeas (Lee et al., 1996).

Em média, machos ganharam 16% a mais de peso corporal por dia e foram 9,7% mais pesados em relação às fêmeas durante a fase de recria. Esta diferença de desempenho entre os sexos é decorrente do controle hormonal sobre o consumo dos animais (Dearden et al., 2018). Neste estudo, os machos consumiram em média 222 g a mais por dia de suplemento em relação às fêmeas, o que equivale a um consumo de suplemento 7,4 % superior. Em geral, machos são mais pesados e consomem mais, fato decorrente da ação do estrógeno nas fêmeas, o qual exerce efeito no tamanho das refeições e na ingestão diária de alimentos (Asarian e Geary, 2006), bem como na regulação dos padrões de alimentação diurna (Chen et al., 2015).

4.2. Fase de Terminação

Os principais achados deste estudo foram o peso corporal, o ganho médio diário, o peso de carcaça quente final e a área de olho de lombo da progênie de novilhas suplementadas com sais de cálcio de óleo de soja durante os terços médio e final da gestação. A progênie de novilhas CSCOS foi 13,3 kg mais pesada e ganhou 171 g/d a mais que a progênie de novilhas SSCOS. É importante salientar que a suplementação materna com a adição de SCOS durante a gestação neste estudo consistiu no fornecimento de aproximadamente 0,94% de SCOS na MS da dieta. Brandão et al. (2020) ao suplementarem vacas multíparas com 1,5% de SCOS durante o terço final da gestação constataram 26 kg a mais de PC e um aumento de 130 g de ganho de peso diário na progênie macho das mães suplementadas com SCOS. Superiores PC e GMD na progênie de vacas suplementadas com 1,76% de sais de cálcio de ácidos graxos poli-insaturados durante o terço final da gestação também foram encontrados no estudo de Marques et al. (2017). A suplementação materna com ácidos graxos poli-insaturados durante o terço final da gestação também aumentou o PC de cordeiros ao final da terminação (Nickes et al., 2019). A modulação do PC e GMD no presente estudo pode estar relacionada à alteração de vias orexígenas/anorexígenas no hipotálamo da progênie de novilhas CSCOS (Martin et al., 2018), as quais são responsáveis pelo controle do consumo alimentar. Martin et al. (2018) apesar de não encontrarem diferenças no consumo de matéria da seca da progênie de ovelhas suplementadas com ácidos graxos poli-insaturados durante a gestação, encontraram reduzida concentração de mRNA de MCR4 no hipotálamo da progênie. Este gene é associado ao controle do apetite e à regulação da ingestão alimentar e em baixas concentrações pode levar ao aumento do consumo (Samama et al., 2003). No entanto, são necessários estudos adicionais para compreender de maneira mais aprofundada o papel dos ácidos graxos poli-insaturados nas vias orexígenas e anorexígenas no hipotálamo da progênie de mães suplementadas CSCOS, e os efeitos subsequentes no CMS.

É importante salientar que a diferença estatística encontrada no CMS entre os tratamentos somente foi observada durante a fase de terminação, não sendo constatada na fase de recria (consumo de suplemento). Esta falta de efeito durante a

fase de recria refletiu na ausência de diferença estatística entre os tratamentos sobre o peso corporal e pode ser explicada pelo fato de o consumo de suplemento ter sido fixado nesta fase (10 g/kg de PC por animal/dia). A progênie de novilhas CSCOS por possuir maior AOL aumentou suas necessidades energéticas, sendo mais exigentes que seu grupo controle. O consumo *ad libitum* durante a fase de terminação possibilitou que estes animais consumissem energia suficiente para demonstrar seu elevado potencial de ganho, visto pela maior diferença de peso corporal observada ao final desta fase (+ 13,3 kg). Portanto, pode-se entender que para obter o máximo desempenho nos animais filhos de mães suplementadas com SCOS, deve-se fornecer uma suplementação pós-natal não restrita, a fim de explorar o maior potencial de crescimento destes animais.

Superior peso corporal da progênie de novilhas CSCOS refletiu em um aumento de 10 kg de carcaça ao abate. Marques et al. (2017) e Brandão et al. (2020) ao suplementarem vacas multíparas com AGPI encontraram aumento de 16 kg de carcaça ao abate em ambas as progênies e nos machos de mães suplementadas com AGPI, respectivamente. Rosa-Velazquez et al. (2021), ao suplementarem ovelhas com AGPI durante o último terço da gestação, observaram carcaças 2 kg mais pesadas nos carneiros de mães suplementadas com AGPI quando comparados ao controle. No presente estudo, o superior PCQ da progênie de novilhas CSCOS pode ser resultado de sua maior AOL ao final da fase de terminação, assim como no estudo conduzido por Brandão et al. (2021). Estes autores constataram maiores expressões de *MYOD1* e *MYOG* ao nascimento no músculo *Longissimus* da progênie de mães suplementadas CSCOS, contudo essa maior expressão não foi encontrada ao final da fase de terminação. Em concordância com o presente estudo, a falta de efeito desses genes na fase de terminação pode ser devido ao fato que ambos participam da diferenciação e fusão de miócitos na fase embrionária tardia ou no início da vida pós-natal (Yablonka-Reuveni, 1995). Embora o aumento na AOL do presente estudo possa ser explicado pela maior expressão de *MYOD1* e *MYOG* ao nascimento, outros fatores também corroboram para este efeito, como a maior expressão do mTOR encontrado nos machos filhos de novilhas CSCOS. A modulação do mTOR em descendentes de novilhas CSCOS pode ser explicada pelo aumento da captação de glicose pelas

células, decorrente da maior permeabilidade da membrana celular (Liu et al., 1994), induzida pela elevação de AGPI no plasma fetal (Garcia et al., 2014).

A suplementação com sais de cálcio de óleo de soja em animais gestantes resulta em superior aporte de ácidos poli-insaturados, principalmente n-6 e n-3, no plasma fetal (Garcia et al., 2014; Zhao et al., 2014; Ricks et al., 2020). A transferência destes ácidos graxos se dá via placenta, onde as enzimas lipoproteína lipase e lipase epitelial presentes na membrana microvilosa do sinciciotrofoblasto voltada para a mãe liberam ácidos graxos das lipoproteínas ricas em triglicerídeos circulantes maternas para permitir a absorção placentária de AGNE (Gil-Sánchez et al., 2011). Os AGNE são transportados do meio intracelular por meio de difusão passiva ou a partir dos transportadores de membrana FAT/CD36 (*fatty acid translocase*), FATP1–6 (*fatty acid transport proteins*), FABPpm (*plasma membrane fatty acid-binding protein*) ou p-FABPpm (*placental plasma membrane FABP*) (Hanebutt et al., 2008). Uma vez dentro da célula, o AGNE se liga ao FABP citosólico que facilita o movimento intracelular de ácidos graxos e as interações com organelas subcelulares (Gil-Sánchez et al., 2011).

A elevação da concentração de ácidos graxos poli-insaturados no plasma fetal pode alterar a composição lipídica dos fosfolípidios da membrana celular no músculo esquelético, aumentando o teor de AGPI nesta (Storlien et al., 1996). Este mecanismo ocorre devido à ação dos AGPI sobre os genes *Fads 1* e/ou *Fads 2*, os quais codificam as enzimas $\Delta 5$ e $\Delta 6$ dessaturases envolvidas na síntese de ácidos graxos poli-insaturados de cadeia longa. Estas alterações na membrana celular fetal causadas pelos AGPI podem persistir ao longo da vida pós-natal do animal (Burdge e Lillycrop, 2014). O aumento de AGPI na membrana celular altera a sua fluidez e o seu número de transportadores (Ginsberg et al., 1982; Liu et al., 1994), principalmente aqueles que transportam glicose e insulina, acarretando um processo conhecido como sensibilidade à insulina (Vessby et al., 2002; Lee et al., 2006; Gingras et al., 2007). O aumento no número dos transportadores IRS1 e 2 e GLUT4 na membrana dos miócitos é capaz de aumentar a entrada de glicose e insulina na célula muscular (Lamphere e Lienhard, 1992). A ligação da insulina ao seu receptor na membrana celular desencadeia sua ativação, promovendo a fosforilação dos substratos do receptor de insulina 1 (IRS1) e 2 (IRS2). Esses substratos fosforilados se associam à subunidade de 85 kDa da PI3K (fosfatidil-inositol-3-quinase), ativando a quinase e a

via de sinalização PI3K-mTOR (Bolster et al., 2004). A PI3K ativada fosforila o intermediário Akt (proteína quinase B), que, por sua vez, promove a ativação de mTOR por meio de sua fosforilação. A ativação de mTOR pela insulina resulta na fosforilação de proteínas-alvo, como 4E-BP1, S6K1 e a proteína ribossômica S6, culminando na ativação das etapas de ligação do mRNA na iniciação da tradução e consequente síntese proteica (Zheng e Wang, 2021). Adicionalmente, a Akt promove a fosforilação da proteína substrato AS160, o que favorece a translocação dos transportadores de glicose GLUT4 das vesículas citoplasmáticas para a membrana celular, aumentando assim o transporte de glicose dependente de insulina para o interior da célula (Świdarska et al., 2018).

No presente estudo, a possível sensibilidade à insulina causada pelo maior aporte de AGPI ao feto aumentou a passagem de insulina e glicose para o meio intracelular promovendo a maior ativação da via PI3K-Akt-mTOR, o que pode ser evidenciado pela maior AOL e expressão gênica da mTOR na progênie macho de mães suplementadas com SCOS. Apesar da equivalência nas concentrações plasmáticas de glicose da progênie, o mecanismo explorado acima foi possível devido ao maior consumo de matéria seca da progênie CSCOS na fase de terminação e consequente superior aporte de glicose e insulina, as quais foram absorvidas em maiores quantidades pela célula muscular. De acordo com os resultados encontrados no presente estudo, Martin et al. (2018) e Rosa-Velazquez et al. (2021) não encontraram diferenças significativas de glicose plasmática na progênie quando a mãe foi ou não suplementada com AGPI, apesar de encontrarem superior desempenho na progênie de mães suplementadas com AGPI. Estes achados corroboram com os encontrados no presente estudo e confirmam a teoria da hipertrofia muscular da progênie de novilhas suplementadas com SCOS durante os terços médio e final da gestação.

O maior grau de marmoreio encontrado no músculo da progênie macho pode ser explicado pela ativação da via de sinalização do PPAR γ . O ácido linoleico (n-6) é um precursor para ativação dos sistemas de receptores da superfície celular que iniciam a expressão de C/EBP- β e C/EBP- δ em conjunto ou não com C/EBP- α podem ativar o PPAR γ (Wu et al., 1996; Chen et al., 2003). Cooke et al. (2011) e Mangrum et al. (2016) ao suplementaram animais com ácidos graxos poli-insaturados protegidos

da degradação ruminal, que continham altas porcentagens de ácidos linoleico, encontraram maior gordura intramuscular e grau de marmoreio. Brandão et al. (2020) e Shao et al. (2023) encontraram tendência em maior expressão de PPAR γ no músculo *Longissimus* da progênie de mães suplementadas com AGPI. Assim como no presente estudo, Marques et al., (2017) encontraram maior grau de marmoreio no músculo *Longissimus* da progênie de vacas suplementadas com AGPI. Ao prolongar o período de suplementação com ácidos graxos poli-insaturados, principalmente n-3, Huang et al. (2008) observaram um aumento de marmoreio no *Longissimus dorsi*, sem impactar a espessura da gordura subcutânea. Os efeitos dos ácidos graxos poli-insaturados sobre o grau de marmoreio e gordura subcutânea ainda são controversos (Yang et al., 2010; Jiang et al., 2022), contudo há uma tendência que estes ácidos graxos aumentem o marmoreio sem alterar a espessura gordura subcutânea.

Superior AOL e inferiores EGS e marmoreio observadas nos machos em relação às fêmeas corroboram com o fato que machos inteiros possuem maior deposição muscular e menor deposição lipídica em relação às fêmeas (Fortin et al., 1980). Junqueira et al. (1998) e Pascoal et al. (2009) observaram comportamento similar nas variáveis AOL e EGS entre machos e fêmeas terminados em confinamento e a pasto, respectivamente. As diferenças observadas entre os sexos podem ser atribuídas aos hormônios gonadais, como a testosterona, uma vez que este hormônio desempenha um papel crucial no estímulo ao crescimento muscular magro em contraste com a deposição de gordura (Seideman et al., 1982).

As maiores proporções de traseiro e ponta de agulha nas fêmeas em relação aos machos corroboram com o estudo de Pascoal et al. (2009). Machos inteiros tendem a ter maior proporção de dianteiro na carcaça em relação às fêmeas (Junqueira et al., 1998). Vaz et al. (2002) ao avaliarem os aspectos qualitativos na carcaça de bovinos Hereford não encontraram diferenças nas proporções de dianteiro entre vacas e novilhos. Corroborando com os resultados aqui encontrados, Coutinho Filho et al. (2006) ao avaliarem o desempenho produtivo de bovinos jovens Santa Gertrudis durante a fase de terminação encontraram maiores proporções de traseiro e ponta de agulha e menor proporção de dianteiro nas fêmeas em relação aos machos inteiros. A maior proporção de traseiro é de grande importância para o matadouro, pois é onde estão os cortes com maior valor agregado na carcaça (Moreira et al., 2017).

Nos machos inteiros, a maior proporção de dianteiro em relação às fêmeas pode ser explicada pela presença dos hormônios andrógenos, os quais atuam no crescimento de músculos do pescoço (Galbraith e Topps, 1981; Butler-Hogg e Brown, 1986). Adicionalmente, a fisiologia do crescimento entre os sexos pode explicar a maior proporção de músculos traseiros e abdominais nas fêmeas em relação aos machos (Mukhoty e Berg, 1973).

Determinar a composição química corporal é de grande importância para se ter conhecimento dos efeitos da nutrição e nutrientes específicos no crescimento animal (Cônsole et al., 2015). Considerando o aumento no PCQ e AOL na progênie de novilhas CSCOS, a falta de efeitos na composição química da seção HH, carcaça e corpo vazio indicam que houve mudanças equivalentes na deposição de gordura e proteína. Nascimento et al. (2020) observaram maiores teores de extrato etéreo e menores de proteína e água na carcaça de novilhos suplementados com SCOS. Estas mudanças foram relacionadas ao maior fornecimento de energia na dieta com SCOS. Apesar da equidade entre as dietas fornecidas à progênie no presente estudo, animais filhos de novilhas CSCOS tiveram maior CMS durante a fase de terminação, o que gerou maior aporte energético. Entretanto, segundo Marcondes et al. (2016) animais Zebuínos atingem a maturidade quando o teor de extrato etéreo no corpo vazio se encontra em 25%, o que não foi observado nos machos do presente estudo, demonstrando que o maior aporte energético foi em sua maioria direcionado para o crescimento muscular.

As diferenças nas concentrações de água e proteína na seção HH, carcaça e corpo vazio entre os sexos pode ser explicada pela maior deposição muscular e reduzida deposição de gordura nos machos resultado da ação de hormônios andrógenos (Irshad et al., 2012). Contrariamente, estrógenos são menos eficientes em depositar músculo e mais eficientes em depositar gordura (Irshad et al., 2012), o que pode ser evidenciado pelos maiores teores de extrato etéreo na carcaça nas fêmeas. A composição química da seção HH nos machos e fêmeas está de acordo com valores encontrados na literatura (Hall et al., 1995; Marcondes et al., 2012; Cônsole et al. 2015; Berndt et al., 2017).

Um dos fatores que podem explicar a maior deposição muscular nos machos em relação às fêmeas é a sua maior proliferação de células satélites e expressão de

MRF's (Manzano et al., 2011). A maior expressão de MYOD1 nos machos corrobora com esta ideia, visto que a testosterona possui ação estimulante sobre este gene (Singh et al., 2003). Miranda et al. (2023) encontraram maiores expressões de MYOD e MYOG nos machos quando comparados às fêmeas. Essa diferença na expressão de genes miogênicos suportam a ideia de mecanismos sexo específicos na regulação da miogênese (Oster et al., 2017).

Portanto, a suplementação materna com ácidos graxos poli-insaturados durante a gestação tem potencial para melhorar o desempenho da progênie, aumentando o ganho em carcaça ao abate e produzido animais mais pesados em um mesmo período quando comparados à progênie de mães suplementadas com ácidos graxos saturados ou monoinsaturados (Marques et al., 2017; Brandão et al., 2020; Rosa-Velazquez et al., 2021). Deve-se ter conhecimento que a suplementação com AGPI não só traz benefícios à progênie como também à mãe. Superior taxa de prenhez e inferior morte embrionária na estação de monta seguinte foram encontradas quando fêmeas foram suplementadas com AGPI durante a gestação (Banta et al., 2006; Santos et al., 2008). A melhoria destes índices resulta em maior número de bezerros nascidos na estação de monta seguinte e conseqüentemente elevação da razão quilos de bezerro desmamado por vaca exposta.

5. IMPLICAÇÕES PRÁTICAS

O presente estudo avaliou os efeitos da suplementação com sais de cálcio de óleo de soja durante a gestação de novilhas Nelore sobre o desempenho da progênie nas fases de crescimento e terminação. A proteção do óleo de soja com sais de cálcio permite um maior aporte de ácidos graxos poli-insaturados no intestino ao evitar que estes sejam biohidrogenados no rúmen. A suplementação materna com ácidos graxos poli-insaturados vem sendo estudada ao longo dos últimos anos, contudo este é o primeiro estudo que utilizou primíparas Nelore que pariram antes dos 36 meses de idade. Além disso, o fato da progênie dessas primíparas ser filha do mesmo pai e ter seguido protocolos alimentares semelhantes, nos permitiu compará-las e gerar *insights* a respeito da eficiência de produção de ambos os sexos. A progênie de novilhas CSCOS tiveram alterações gênicas/fenotípicas que a tornaram exigentes por um maior aporte energético para que expressassem essas alterações. Justificado pela

ausência de diferença estatística no peso corporal entre as progênes na fase de recria quando o fornecimento de suplemento era restrito. Entretanto, na fase de terminação quando o aporte energético foi satisfeito pela alimentação *ad libitum*, a progênie de novilhas CSCOS expressou todo o seu potencial de ganho de peso corporal.

6. CONCLUSÃO

Este estudo fornece evidências que a suplementação com sais de cálcio de óleo de soja em novilhas Nelore gestantes melhora o desempenho futuro da progênie por meio de alterações gênicas e fenotípicas envolvidas no crescimento muscular. Em virtude dos efeitos causados em ambas as progênes (machos e fêmeas), pode-se concluir que a nutrição materna altera a trajetória e crescimento da progênie independentemente do sexo.

7. REFERÊNCIAS

- Al-Khalili L, Cartee GD, Krook A (2003) RNA interference-mediated reduction in GLUT1 inhibits serum-induced glucose transport in primary human skeletal muscle cells. **Biochemical and biophysical research communications**. 307(1):127-132.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist), 2006. Official Methods of Analysis of the AOAC. In: Horwitz, W. (Ed.). 18th Edn. **Association of Official Analytical Chemists**, Washington D.C., USA.
- Asarian L, Geary N (2006) Modulation of appetite by gonadal steroid hormones. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**. 361(1471):1251-63.
- Banta JP, Lalman DL, Owens FN, Krehbiel CR, Wettemann RP (2006) Effects of interval-feeding whole sunflower seeds during mid to late gestation on performance of beef cows and their progeny. **Journal of Animal Science**. 84(9):2410-2417.
- Barbero RP, Malheiros EB, Aguilar NM, Romanzini EP, Ferrari AC, Nave RLG, Mullinks, JT, Reis RA (2020) Supplementation level increasing dry matter intake of beef cattle grazing low herbage height. **Journal of Applied Animal Research**, 48, 28–33.
- Benedeti PD, Valadares Filho SC, Chizzotti ML, Marcondes MI, de Sales Silva FA (2021) Development of equations to predict carcass weight, empty body gain, and retained energy of Zebu beef cattle. **Animal**. 15(1):100028.
- Berndt A, Lanna DP, Da Cruz GM, Tullio RR, Sakamoto LS, De Alencar MM (2017) Prediction of the chemical body composition of Nellore and crossbreed bulls. **Journal of Animal Science**. 95(9):3932-3939.
- Bolster DR, Jefferson LS, Kimball SR (2004) Regulation of protein synthesis associated with skeletal muscle hypertrophy by insulin-, amino acid- and exercise-induced signalling. **Proceedings of the Nutrition Society**. 63(2):351-356.
- Brandão AP, Cooke RF, Schubach KM, Rett B, Souza OA, Schachtschneider CL, Perry GA, Arispe SA, Jump DB, Pohler KG, Bohnert DW, Marques RS (2020) Supplementing Ca salts of soybean oil to late-gestating beef cows: impacts on performance and physiological responses of the offspring. **Journal of Animal Science**. 98(8):1–12.
- Brasil (1997) Ministério da agricultura, Pecuária e Abastecimento, Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal [Sanitary and Industrial Inspection Regulation for Animal Origin Products]. **Ministério Da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Brasília.
- Burdge GC, Lillycrop KA (2014) Fatty acids and epigenetics. **Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care**. 17(2):156-161.
- Butler-Hogg BW, Brown AJ (1986) Muscle weight distribution in lambs: a comparison of entire male and female. **Animal Science**. 42(3):343-348.

- Chen W, Yang CC, Sheu HM, Seltmann H, Zouboulis CC (2003) Expression of peroxisome proliferator-activated receptor and CCAAT/enhancer binding protein transcription factors in cultured human sebocytes. **Journal of investigative dermatology**. 121(3):441-447.
- Chen X, Wang L, Loh DH, Colwell CS, Taché Y, Reue K, Arnold AP (2015) Sex differences in diurnal rhythms of food intake in mice caused by gonadal hormones and complement of sex chromosomes. **Hormones and Behavior**. 75:55-63.
- Coleman DN, Murphy KD, Relling AE (2018) Prepartum fatty acid supplementation in sheep. II. Supplementation of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid during late gestation alters the fatty acid profile of plasma, colostrum, milk and adipose tissue, and increases lipogenic gene expression of adipose tissue. **Journal of Animal Science**. 96(3):1181-1204.
- Cônsolo NR, Rodriguez FD, Goulart RS, Frassetto MO, Ferrari VB, Silva LF (2015) Zilpaterol hydrochloride improves feed efficiency and changes body composition in nonimplanted Nellore heifers. **Journal of Animal Science**. 93(10):4948-4955.
- Cooke RF, Bohnert DW, Moriel P, Hess BW, Mills RR (2011) Effects of polyunsaturated fatty acid supplementation on ruminal in situ forage degradability, performance, and physiological responses of feeder cattle. **Journal of Animal Science**. 89(11):3677-3689.
- Coutinho Filho JL, Peres RM, Justo CL (2006) Produção de carne de bovinos contemporâneos, machos e fêmeas, terminados em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**. 35:2043-2049.
- Dearden L, Bouret SG, Ozanne SE (2018) Sex and gender differences in developmental programming of metabolism. **Molecular metabolism**. 15:8-19.
- De Vries MFW (1995) Estimating forage intake and quality in grazing cattle: a reconsideration of the hand-plucking method. **Journal of Range Management**, 48(4):370–375.
- Fortin A, Reid JT, Maiga AM, Sim DW, Wellington GH (1980) Effect of energy intake level and influence of breed and sex on the physical composition of the carcass of cattle. **Journal of Animal Science** 51(2):331-339.
- Galbraith H, Topps JH (1981) Effects of hormones on the growth and body composition on animals. **Nutrition Abstracts and Reviews (Series B)** 51:521–540.
- Gallou-Kabani C, Gabory A, Tost J, Karimi M, Mayeur S, Lesage J, Boudadi E, Gross MS, Taurelle J, Vigé A, Breton C (2010) Sex-and diet-specific changes of imprinted gene expression and DNA methylation in mouse placenta under a high-fat diet. **PloS one** 5(12):e14398.
- Garcia M, Greco LF, Favoreto MG, Marsola RS, Martins LT, Bisinotto RS, Shin JH, Lock AL, Block E, Thatcher WW, Santos JE (2014) Effect of supplementing fat to pregnant nonlactating cows on colostrum fatty acid profile and passive immunity of the newborn calf. **Journal of Dairy Science**. 97(1):392-405.

- Gil-Sánchez A, Demmelmair H, Parrilla JJ, Koletzko B, Larqué E (2011) Mechanisms involved in the selective transfer of long chain polyunsaturated fatty acids to the fetus. **Frontiers in genetics**. 2:57.
- Gingras AA, White PJ, Chouinard PY, Julien P, Davis TA, Dombrowski L, Couture Y, Dubreuil P, Myre A, Bergeron K, Marette A (2007) Long-chain omega-3 fatty acids regulate bovine whole-body protein metabolism by promoting muscle insulin signalling to the Akt–mTOR–S6K1 pathway and insulin sensitivity. **The Journal of physiology**. 579(1):269-284.
- Ginsberg BH, Jabour J, Spector AA (1982) Effect of alterations in membrane lipid unsaturation on the properties of the insulin receptor of Ehrlich ascites cells. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes**. 690(2):157-164.
- Hall JB, Staigmiller RB, Bellows RA, Short RE, Moseley WM, Bellows SE (1995) Body composition and metabolic profiles associated with puberty in beef heifers. **Journal of Animal Science**. 73(11):3409-3420.
- Hanebutt FL, Demmelmair H, Schiessl B, Larqué E, Koletzko B (2008) Long-chain polyunsaturated fatty acid (LC-PUFA) transfer across the placenta. **Clinical Nutrition**. 27(5):685-693.
- Hellemans J, Mortier G, De Paepe A, Speleman F, Vandesompele, J (2007) qBase relative quantification framework and software for management and automated analysis of real-time quantitative PCR data. **Genome Biology**, 8(2):R19.
- Huang FR, Zhan ZP, Luo J, Liu ZX, Peng J (2008) Duration of dietary linseed feeding affects the intramuscular fat, muscle mass and fatty acid composition in pig muscle. **Livestock Science**. 118(1-2):132-139.
- Irshad A, Kandeepan G, Kumar S, Ashish KA, Vishnuraj MR, Shukla V (2013) Factors influencing carcass composition of livestock: A review. **J. Anim. Prod. Adv.** 3(1):1.
- Jenkins TC, Bridges WC (2007) Protection of fatty acids against ruminal biohydrogenation in cattle. **European Journal of Lipid Science and Technology**. 109(8), 778–789.
- Jiang SS, Wei F, Abulahaiti DL, Tian CC, Fu L, Lu JX, Zhang GH (2022) Dietary supplementation with vegetable oils with low n-6: n-3 polyunsaturated fatty acid ratios improves the intramuscular fat and fatty acid composition of growing finishing pigs. **South African Journal of Animal Science**. 52(6):819-832.
- Jump DB, Clarke SD, Thelen A, Liimatta M (1994) Coordinate regulation of glycolytic and lipogenic gene expression by polyunsaturated fatty acids. **Journal of lipid research**. 35(6):1076-1084.
- Junqueira JO, Velloso L, Felício PE (1998) Desempenho, rendimentos de carcaça e cortes de animais, machos e fêmeas, mestiços Marchigiana x Nelore, terminados em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**. 27(6):1199-1205.

- Lamphere L, Lienhard GE (1992) Components of signaling pathways for insulin and insulin-like growth factor-I in muscle myoblasts and myotubes. *Endocrinology*. 131(5):2196-2202.
- Larson RL (2007) Heifer development: reproduction and nutrition. **Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice**. 23(1):53-68.
- Lee KN, Pariza MW, Ntambi JM (1996) Differential expression of hepatic stearyl-CoA desaturase gene 1 in male and female mice. **Biochimica Et Biophysica Acta (BBA)-Lipids and Lipid Metabolism**. 1304(2):85-88.
- Lee JS, Pinnamaneni SK, Eo SJ, Cho IH, Pyo JH, Kim CK, Sinclair AJ, Febbraio MA, Watt MJ (2006) Saturated, but not n-6 polyunsaturated, fatty acids induce insulin resistance: role of intramuscular accumulation of lipid metabolites. **Journal of applied physiology**. 100(5):1467-1474.
- Liu S, Baracos VE, Quinney HA, Clandinin MT (1994) Dietary omega-3 and polyunsaturated fatty acids modify fatty acyl composition and insulin binding in skeletal-muscle sarcolemma. **Biochemical Journal**. 299(Pt 3):831-837.
- Maia MRG, Chaudhary LC, Figueres L, Wallace RJ (2007) Metabolism of polyunsaturated fatty acids and their toxicity to the microflora of the rumen. **Antonie van Leeuwenhoek**, 91(4):303–314.
- Mangrum KS, Tuttle G, Duckett SK, Sell GS, Krehbiel CR, Long NM (2016) The effect of supplementing rumen undegradable unsaturated fatty acids on marbling in early-weaned steers. **Journal of Animal Science**. 94(2):833-844.
- Manzano R, Toivonen JM, Calvo AC, Miana-Mena FJ, Zaragoza P, Muñoz MJ, Montarras D, Osta R (2011) Sex, fiber-type, and age dependent in vitro proliferation of mouse muscle satellite cells. **Journal of cellular biochemistry**. 112(10):2825-36.
- Marcondes MI, da Silva AL, Gionbelli MP, de Campos S (2016) Exigências de energia para bovinos de corte. **BR-Corte: Tabela Brasileira De Exigências Nutricionais**; DZO/UFV: Viçosa, Minas Gerais, Brazil. 163-190.
- Martin ACC, Coleman DN, Garcia LG, Furnus CC, Relling AE (2018) Prepartum fatty acid supplementation in sheep. III. Effect of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid during finishing on performance, hypothalamus gene expression, and muscle fatty acids composition in lambs. **Journal of Animal Science**. 96(12):5300-5310.
- Marques RS, Cooke RF, Rodrigues MC, Brandão AP, Schubach KM, Lippolis KD, Moriel P, Perry GA, Lock A, Bohnert DW (2017) Effects of supplementing calcium salts of polyunsaturated fatty acids to late-gestating beef cows on performance and physiological responses of the offspring. **Journal of Animal Science**. 95(12):5347-5357.
- Miranda AS (2022) **Suplementação com gordura protegida durante a segunda metade da gestação em ovelhas sobre a expressão gênica, perfil histológico e qualidade de carne da progênie**. 60 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Zootecnia nos Trópicos) – UFNT/UFRA, Parauapebas.

- Miranda AS, Andrade MA, Nascimento KB, Santos TG, Lessa MB, Gomes DI, Oliveira LRS, Ladeira MM, Gionbelli TRS, Mezzomo R, Alves KS, Gionbelli MP (2023) Effect of supplementing rumen-protected fat during the second half of gestation on maternal performance and metabolism in ewes during pregnancy and subsequent lactation. **Animal Feed Science and Technology**, 304, 115754.
- Moreira AD, Siqueira GR, Lage JF, Benatti JM, Moretti MH, Miguel GZ, De Oliveira IM, De Resende FD (2017) Castration methods in crossbred cattle raised on tropical pasture. **Animal Production Science**. 58(7):1307-1315.
- Mott GO, Lucas HL (1952) The design, conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. **International Grassland Congress**, 6, 1380–1395.
- Moura FH, Costa TC, Trece AS, Melo LP, Manso MR, Paulino MF, Rennó LN, Fonseca MA, Detmann E, Gionbelli MP, Duarte MS (2020) Effects of energy-protein supplementation frequency on performance of primiparous grazing beef cows during pre and postpartum. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, 33, 1430-1443.
- Mukhoty H, Berg RT (1973) Influence of breed and sex on muscle weight distribution of cattle. **The Journal of Agricultural Science** 81(2):317-326.
- Nascimento FA, Silva NC, Prados LF, Pacheco RD, Johnson BJ, Cappelozza BI, Resende FD, Siqueira GR (2020) Calcium salts of fatty acids with varying fatty acid profiles in diets of feedlot-finished *Bos indicus* bulls: impacts on intake, digestibility, performance, and carcass and meat characteristics. **Journal of Animal Science**. 98(12):skaa382.
- Nickles KR, Hamer L, Coleman DN, Relling AE (2019) Supplementation with eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids in late gestation in ewes changes adipose tissue gene expression in the ewe and growth and plasma concentration of ghrelin in the offspring. **Journal of Animal Science**. 97(6):2631-2643.
- Oster M, Trakooljul N, Reyer H, Zeyner A, Muráni E, Ponsuksili S, Wimmers K (2017) Sex-specific muscular maturation responses following prenatal exposure to methylation-related micronutrients in pigs. **Nutrients** 9(1):74.
- Pascoal LL, Lobato JF, Restle J, Vaz RZ, Vaz FN (2009) Meat yield of culled cow and steer carcasses. **Revista Brasileira de Zootecnia**. 38:2230-2237.
- Pfaffl MW (2001) A new mathematical model for relative quantification in real-time RT-PCR. **Nucleic Acids Research**. 29(9):e45.
- Pinheiro TR, Mercadante ME, Albuquerque LG, Bonilha SF, Monteiro FM (2012) Selection for higher body weight in Nelore cattle is effective in achieving an increase of longissimus muscle area without reducing subcutaneous fat thickness. **Revista Brasileira de Zootecnia**. 41:1426-1432.
- Queiroz ACM (2024) **Efeitos da suplementação nos terços médio e final da gestação de novilhas nelore com sais de cálcio de óleo de soja sobre o desempenho produtivo no par mãe/prole**. 80 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Unesp, Jaboticabal.

- Rehfeldt C, Stickland NC, Fiedler I, Wegner J (1999) Environmental and genetic factors as sources of variation in skeletal muscle fibre number. **BAM-PADOVA**. 9(5):235-254.
- Ricks RE, Cook EK, Long NM. (2020) Effects of supplementing ruminal-bypass unsaturated fatty acids during late gestation on beef cow and calf serum and colostrum fatty acids, transfer of passive immunity, and cow and calf performance. **Applied Animal Science** 36(2):271-284.
- Robertson JB, Van Soest PJ, James WPT, Theander O (1981) The detergent system of analysis and its application to human foods. In W. James & O. Theander (Eds.), **The analysis of dietary fiber in food** (pp. 123–158).
- Roque-Jiménez JA, Rosa-Velázquez M, Pinos-Rodríguez JM, Vicente-Martínez JG, Mendoza-Cervantes G, Flores-Primo A, Lee-Rangel HA, Relling AE (2021) Role of long chain fatty acids in developmental programming in ruminants. *Animals*. 11(3):762.
- Roque-Jiménez JA, Oviedo-Ojeda MF, Whalin M, Lee-Rangel HA, Relling AE (2023) Ewe early gestation supplementation with eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids affects the liver, muscle, and adipose tissue fatty acid profile and liver mRNA expression in the offspring. **Journal of Animal Science**. 101:skad144.
- Rosa-Velazquez M, Jaborek JR, Pinos-Rodriguez JM, Relling AE. (2021) Maternal supply of fatty acids during late gestation on offspring's growth, metabolism, and carcass characteristics in sheep. **Animals**. 11(3):719.
- Sampaio RL, Resende FD, Reis RA, Oliveira IM, Custódio L, Fernandes RM (2017) The nutritional interrelationship between the growing and finishing phases in crossbred cattle raised in a tropical system. **Tropical Animal Health and Production**. 49:1015-1024.
- Santos JE, Bilby TR, Thatcher WW, Staples CR, Silvestre FT. (2008) Long chain fatty acids of diet as factors influencing reproduction in cattle. *Reproduction in Domestic Animals* 43:23-30.
- Seideman SC, Cross HR, Oltjen RR, Schanbacher BD (1982) Utilization of the intact male for red meat production: a review. **Journal of Animal Science** 55(4):826-840.
- Shao T, Ireland FA, McCann JC, Shike DW (2021) Effects of supplements differing in fatty acid profile to late gestational beef cows on cow performance, calf growth performance, and mRNA expression of genes associated with myogenesis and adipogenesis. **Journal of Animal Science and Biotechnology**. 12:1-5.
- Shao T, McCann JC, Shike DW. (2023) Effects of late gestation supplements differing in fatty acid amount and profile to beef cows on cow performance, steer progeny growth performance through weaning, and relative mrna expression of genes associated with muscle and adipose tissue development. **Animals**. 13(3):437.

- Silva LFC, Valadares Filho SC, Rota PP, Marcondes MI, Silva FF, Gionbelli MP, Rotta PP, Chizzotti ML, Prados LF (2016) Predição da composição corporal e da carcaça de bovinos de corte. **BR-CORTE: Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados**. 5:127-149.
- Singh R, Artaza JN, Taylor WE, Gonzalez-Cadavid NF, Bhasin S (2003) Androgens stimulate myogenic differentiation and inhibit adipogenesis in C3H 10T1/2 pluripotent cells through an androgen receptor-mediated pathway. **Endocrinology** 144(11):5081-5088.
- Sollenberger LE, Cherney D (1995) Evaluating forage production and quality. **Forages: The science of grassland agriculture**. 2:97-110.
- Storlien LH, Pan DA, Kriketos AD, O'connor J, Caterson ID, Cooney GJ, Jenkins AB, Baur LA (1996) Skeletal muscle membrane lipids and insulin resistance. **Lipids**. 31:S261-S265.
- Świdarska E, Strycharz J, Wróblewski A, Szemraj J, Drzewoski J, Śliwińska A (2018) Role of PI3K/AKT pathway in insulin-mediated glucose uptake. **Blood glucose levels**. 1:1-8.
- Turner JW (1980) Genetic and biological aspects of Zebu adaptability. **Journal of Animal Science** 50(6):1201-1205.
- Untergasser A, Nijveen H, Rao X, Bisseling T, Geurts R, Leunissen JA (2007) Primer3plus, an enhanced web interface to primer3. **Nucleic Acids Research**, 35(Suppl. 2), W71–W74.
- Vandesompele J, De Preter K, Pattyn F, Poppe B, Van Roy N, De Paepe A, Speleman F (2002) Accurate normalization of real-time quantitative RT-PCR data by geometric averaging of multiple internal control genes. **Genome Biology**, 3(7), 1-12.
- Vaz FN, Restle J, Quadros AR, Pascoal LL, Sanchez LM, Rosa JR, Menezes LF (2002) Características da carcaça e da carne de novilhos e de vacas de descarte Hereford, terminados em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**. 31:1501-1510.
- Vessby B, Gustafsson IB, Tengblad S, Boberg M, Andersson A (2002) Desaturation and elongation of fatty acids and insulin action. **Annals of the New York Academy of Sciences**. 967(1):183-195.
- Zhao JP, Levy E, Fraser WD, Julien P, Delvin E, Montoudis A, Spahis S, Garofalo C, Nuyt AM, Luo ZC (2014) Circulating docosahexaenoic acid levels are associated with fetal insulin sensitivity. **PLoS One**. 9(1):e85054.
- Zheng M, Wang P (2021) Role of insulin receptor substance-1 modulating PI3K/Akt insulin signaling pathway in Alzheimer's disease. **3 Biotech**. 11(4):179.
- Wu Z, Bucher NL, Farmer SR (1996) Induction of peroxisome proliferator-activated receptor γ during the conversion of 3T3 fibroblasts into adipocytes is mediated by C/EBP β , C/EBP δ , and glucocorticoids. **Molecular and cellular biology**. 16(8):4128-4136.

- Yang KX, Ma JW, Guo YM, Guo TF, Zhao YG, Ding NS, Betti M, Plastow GS, Huang LS (2010) Correlations between fat depot traits and fatty acid composition in abdominal subcutaneous adipose tissue and longissimus muscle: Results from a White Duroc x Erhualian intercross F2 population. **Journal of Animal Science**. 88(11):3538-3545.
- Ye J, Coulouris G, Zaretskaya I, Cutcutache I, Rozen S, Madden TL (2012) PrimerBLAST: a tool to design target-specific primers for polymerase chain reaction. **BMC Bioinformatic**, 13(1), 134.

CAPÍTULO 3 - EFEITOS DA SUPLEMENTAÇÃO COM SAIS DE CÁLCIO DE ÓLEO DE SOJA EM NOVILHAS NELORE DURANTE OS TERÇOS MÉDIO E FINAL DA GESTAÇÃO SOBRE A QUALIDADE DA CARNE DA PROGÊNIE

RESUMO – Objetivou-se com este estudo avaliar a qualidade da carne da progênie de novilhas suplementadas sem sais de cálcio de óleo de soja (SSCOS) ou com sais de cálcio de óleo de soja (CSCOS) durante a fase de terminação. O total de 82 novilhas Nelore prenhes [$385 \pm 49,0$ kg de peso corporal (PC)] que emprenharam aos 14 e 24 meses por meio de inseminação artificial em tempo fixo (IATF), foram designadas para este experimento aos 123 ± 13 dias de gestação. O delineamento foi em blocos casualizados e o PC inicial das novilhas foi utilizado como critério de blocagem. Todas as novilhas foram suplementadas, e os tratamentos consistiram na utilização de suplemento constituído com sais de cálcio de óleo de soja (CSCOS) e outro sem SCOS (SSCOS) que foi fornecido a 3 g/kg do PC, com 41 repetições por tratamento. Do parto até o desmame, todas as novilhas receberam suplemento SSCOS a 3 g/kg do PC. Após o desmame, 48 bezerros (24 fêmeas e 24 machos) foram selecionados para compor as fases de recria e terminação. Durante a fase de recria todos os animais receberam o mesmo suplemento na quantidade de 10 g/kg de PC e foram recriados por 252 dias em uma área composta pela forrageira *Urochloa brizantha* cv. Marandu. Ao final da fase de recria, os animais foram transferidos para o confinamento onde passaram pela fase de terminação. As fêmeas foram confinadas por 70 dias e os machos por 98 dias. Durante esta fase, ambos os sexos receberam a mesma dieta *ad libitum*. A suplementação materna com SCOS afetou o pH na carcaça ($P = 0,04$) da progênie macho 24 horas após o abate e a perda por descongelamento ($P = 0,02$) no bife da progênie fêmea. Assim, a suplementação materna com sais de cálcio de óleo de soja durante os terços médio e final da gestação influencia a qualidade da carne da progênie criada em um sistema de produção intensivo.

Palavras-chave: Nelore, programação fetal, sais de cálcio de óleo de soja, progênie, qualidade da carne, características de carcaça

EFFECTS OF SUPPLEMENTATION WITH CALCIUM SALTS FROM SOYBEAN OIL IN NELLORE HEIFERS DURING THE MIDDLE AND LATE THIRD OF PREGNANCY ON THE QUALITY OF THE MEAT OF THE OFFSPRING

ABSTRACT – The objective of this study was to evaluate the meat quality of the progeny of heifers supplemented without soybean oil calcium salts (SSCOS) or with soybean oil calcium salts (CSCOS) during the finishing phase. A total of 82 pregnant Nellore heifers [385 ± 49.0 kg body weight (BW)] that became pregnant at 14 and 24 months by fixed-time artificial insemination (FTAI) were assigned to this experiment at 123 ± 13 days of gestation. The design was randomized blocks and the initial BW of the heifers was used as the blocking criterion. All heifers were supplemented, and the treatments consisted of the use of a supplement consisting of soybean oil calcium salts (CSCOS) and another without SCOS (SSCOS) that was supplied at 3 g/kg BW, with 41 replicates per treatment. From calving to weaning, all heifers received SSCOS supplement at 3 g/kg BW. After weaning, 48 calves (24 females and 24 males) were selected to compose the growth and finishing phases. During the growth phase, all animals received the same supplement at 10 g/kg BW and were reared for 252 days in an area composed of the forage *Urochloa brizantha* cv. Marandu. At the end of the growth phase, the animals were transferred to the feedlot where they underwent the finishing phase. Females were confined for 70 days and males for 98 days. During this phase, both sexes received the same diet ad libitum. Maternal supplementation with SCOS affected carcass pH ($P = 0.04$) of male progeny 24 h after slaughter and thaw loss ($P = 0.02$) in steak from female progeny. Thus, maternal supplementation with calcium salts from soybean oil during the middle and late thirds of gestation influences meat quality of progeny raised in an intensive production system.

Keywords: Nellore, fetal programming, soybean oil calcium salts, progeny, meat quality, carcass characteristics

1. INTRODUÇÃO

A pecuária de corte desempenha um papel crucial na economia brasileira, com a raça Nelore sendo predominantemente utilizada devido à sua adaptabilidade e produtividade. A qualidade da carne é um dos principais fatores que determinam a aceitação no mercado e, conseqüentemente, a rentabilidade dos produtores. Diversos fatores influenciam essa qualidade, incluindo a genética, o manejo nutricional e as condições de criação dos animais (Ladeira et al., 2016). Entre esses, a nutrição materna durante a gestação tem se mostrado um fator determinante para o desenvolvimento fetal e a qualidade da carne da progênie (Francisco et al., 2016).

Desta forma, a suplementação materna com ácidos graxos poli-insaturados durante a gestação surge como uma alternativa promissora, visto que este, além de fornecer adensamento energético na dieta possui potencial de melhoria na qualidade da carne da progênie por meio do aumento da gordura intramuscular e/ou alteração no perfil de ácidos graxos (Ferguson et al., 1990; Roque-Jiménez et al., 2023). Além disso, a suplementação de fêmeas bovinas com ácidos graxos poli-insaturados tem demonstrado aumentar a taxa de crescimento (Martin et al., 2018), o desenvolvimento muscular e a composição corporal (Marques et al., 2017; Brandão et al., 2020) da progênie pós-natal. Alterações nestas variáveis foram associadas a modificações de marcadores envolvidos no metabolismo energético (i.e., sistema glicose-insulina) (Nickels et al., 2019; Rosa-Velazquez et al., 2021).

Em um estudo avaliando os efeitos da superalimentação em porcas durante a gestação, Cerisuelo et al. (2009) observaram aumento no pH 24 horas *post mortem* e menor luminosidade (L^*) na carne da progênie. Os autores associaram essas alterações ao menor número de fibras do tipo II e maior área transversal nas células musculares da progênie. Em concordância, Ci et al. (2014) encontraram maior pH e menor intensidade do amarelo (b^*) na carcaça de suínos filhos de mães alimentadas com dieta rica em ácidos graxos poli-insaturados ômega 6. Contudo, neste último estudo, as porcas receberam a dieta com elevado teor de ácidos graxos do sétimo dia anterior ao parto até o desmame da progênie. Portanto, os efeitos causados na carne da progênie podem ter sido reflexo de um efeito indireto da suplementação com ômega 6, visto que a inclusão de ácidos graxos poli-insaturados na dieta materna pré

ou pós-parto aumentam a concentração destes no colostro e no músculo da progênie pelo consumo deste (Garcia et al., 2014; Heras-Molina et al., 2020; Ricks et al., 2020; Shao et al., 2023). Estudo recente avaliando a suplementação com ácidos graxos ômega 3 protegidos da degradação ruminal em ovelhas ao longo de 50 dias nos terços médio e final da gestação não encontraram efeitos na coloração do bife da progênie ao final da fase de terminação (Rosa-Velazquez et al., 2022). Portanto, estudos que avaliem os efeitos da suplementação com ácidos graxos poli-insaturados fontes de ômega 6 (*i.e.*, sais de cálcio de óleo de soja) durante a gestação de novilhas sobre a qualidade da carne da progênie são limitados.

Com base no conhecimento obtido, este é o primeiro estudo que avaliou a suplementação de novilhas com ácidos graxos poli-insaturados fontes de ômega 6 durante os terços médio e final da gestação sobre a qualidade da carne da progênie macho e fêmea. Assim, objetivou-se com este estudo avaliar os efeitos da suplementação com sais de cálcio de óleo de soja em novilhas Nelore durante os terços médio e final da gestação sobre a qualidade da carne da progênie.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e Clima

O estudo foi conduzido na unidade de pesquisa do Polo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios da Alta Mogiana (PRDTA – Alta Mogiana), em Colina – SP, órgão da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. O clima da região é do tipo AW (segundo classificação de Köppen) e o solo classificado como latossolo vermelho-escuro, fase arenosa, com topografia quase plana e de boa drenagem.

2.2. Caracterização da área experimental, animais, manejo alimentar e tratamentos

Os animais foram avaliados em função dos tratamentos recebidos pelas mães durante os terços médio e final da gestação (Capítulo 2). Foram utilizados 48 animais (24 fêmeas e 24 machos) da raça Nelore, recriados em uma recria intensiva a pasto

e terminados em confinamento. O manejo dos animais ao longo das fases de recria e terminação está descrito no Capítulo 2.

Os 48 animais foram abatidos em frigorífico comercial na cidade de Barretos/SP distante 20 km da APTA-Colina/SP. Os procedimentos de abate seguiram o Regulamento de Inspeção Sanitária e Industrial para Produtos de Origem Animal (BRASIL, 1997).

2.3. *Mensuração do pH na carcaça*

O pH foi aferido no momento do abate e após 24 horas de resfriamento da carcaça entre a 12^a e 13^a costelas, no músculo *Longissimus dorsi* (Cañeque & Sañudo, 2005) em todos os animais. Foi utilizado um potenciômetro com sistema de identificação digital, sensor de compensação de temperatura e eletrodo de vidro apropriado para determinação de pH em profundidade (Sentron, modelo 1001-001, Amsterdam, Holanda).

2.4. *Composição química e qualidade da carne*

Na meia carcaça esquerda foi retirada a seção entre a 9^a e 11^a costelas (seção HH; Hankins & Howe, 1946), sendo processada em moinho para posterior análise química. A composição da carcaça e do corpo vazio foram estimadas segundo equações propostas por Costa e Silva et al. (2016).

Após 24 horas do abate, um total de quatro bifés, do músculo *Longissimus dorsi*, de 2,54 cm de espessura foram coletados, identificados e embalados a vácuo. Um bife foi utilizado para a análise da composição química, um para determinação da coloração, perda de peso por exsudatos (perdas por descongelamento e cocção) e força de cisalhamento, um bife para quantificação do colágeno total e um bife para determinação do perfil de ácidos graxos.

A coloração da carne e da gordura (L^* - luminosidade; a^* - coloração vermelho; b^* - coloração amarelo) foram mensuradas a partir do sistema CIELAB utilizando-se um colorímetro KONICA MINOLTA - CR 400 (Konica Minolta Sensing, Inc., Tokyo, Japan), com padrão de fonte de luz D65, ângulo de observação 10°, abertura de 5,0

cm e display Y: 0,01 a 160% de reflectância. A unidade foi calibrada utilizando-se uma placa para o padrão preto e branco. Após 30 min de exposição da amostra sob refrigeração de 2 a 5 °C (blooming time) foram feitas três medidas em diferentes regiões do bife. O índice colorimétrico Chroma (quantidade de cor ou saturação de cor) foi calculado pela equação $[(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0,5}$ e a matriz (coloração real) a partir da fórmula $[\tan^{-1}(b^*/a^*)]$ (Cañeque et al., 2004). Para a leitura da cor da gordura, foi realizado o desbaste superficial com lâmina visando prevenir possíveis artefatos ou sujidades na gordura (sangue acumulado ou imperfeições provocadas no processo de embalagem e armazenamento) que pudessem subestimar ou superestimar os valores da captura.

Para a determinação da força de cisalhamento (FC) os bifes foram descongelados e mantidos sob refrigeração a 4°C por 5 dias. As amostras e as bandejas de cocção foram pesadas e então assadas em forno industrial elétrico até atingir 71°C em seu centro geométrico, monitorado por um termômetro digital acoplado a uma sonda termopar. Após o cozimento os bifes permaneceram em temperatura ambiente por 30 minutos para a realização das perdas por evaporação (PE - diferença entre os pesos somados da amostra, bandeja e grelha antes e após o cozimento), perdas por gotejamento (PG - diferença entre os pesos somados de amostra, bandeja e grelha antes do cozimento subtraído do peso somado de bandeja e grelha após o cozimento) e perdas totais (CL = PE + PG).

A FC dos bifes de contrafilé foi determinada seguindo metodologia Warner-Bratzler Shear Force (WBSF) previamente descrita por Shackelford et al. (1999). Os bifes assados foram embalados em filme plástico e mantidos por 18-24 horas em refrigerador 2 °C em BOD. Após o resfriamento foram retirados de cada bife de 6 a 8 cilindros de ½ polegada em sentido longitudinal às fibras musculares para determinação do *shearing*. Para a determinação da FC os cilindros foram submetidos a análise em texturômetro digital - CT3 (AMETEK Brookfield, Middleborough, Estados Unidos). O dispositivo é equipado com uma lâmina Warner-Bratzler de aço inoxidável de 3,07 mm de espessura com uma aresta de corte em forma de V (ângulo de 60°), com uma célula de carga de 25 quilogramas (kg) e velocidade de seccionamento de 20 cm/min. Os resultados foram relatados como a média dos cilindros por amostra (em kg), removendo os dois extremos de maior e menor valor para FC.

A perda por descongelamento (PPD) foi calculada pela diferença de peso entre a amostra embalada e congelada a -20°C , e o peso da mesma amostra após o descongelamento a $3 \pm 1^{\circ}\text{C}$ em refrigerador (modelo CRB36-Consul, Whirlpool, SP, Brasil). O peso da embalagem foi registrado para que pudesse ser desconsiderado no cálculo e não interferisse no valor final. A diferença gravimétrica entre bifes congelados e descongelados foi registrada em porcentagem.

A perda por cocção (PPC) foi medida a partir das perdas por gotejamento (DL) e evaporação (EVP) de cada bife. Os pesos pré-cozimento e pós-cozimento foram registrados e a porcentagem de DL foi calculada como o peso do gotejamento após o cozimento dividido pelo peso da amostra de carne descongelada. A EVP foi calculada na fórmula $[100 - (\text{peso após o cozimento}) \div \text{peso pré-cozimento} \times 100]$.

2.5. *Análises químicas*

Os teores de proteína, umidade, extrato etéreo e colágeno total (CoTot) dos bifes foram determinados por infravermelho próximo (método AOAC: 2006-04) utilizando o Analisador FoodScan Lab™ (Foss NIRSystems, Inc., Hillerød, Dinamarca). O teor de matéria mineral foi obtido pelo método descrito na norma ISO 936 (ISO, 1998).

2.6. *Análises estatísticas*

Todos os dados foram analisados em delineamento em blocos casualizados, sendo avaliados os efeitos de sexo, sais de cálcio de óleo de soja (SCOS) e a interação SCOS \times sexo da progênie. Onde o peso corporal dos animais ao início da recría e o tratamento foram considerados os fatores de blocagem e os animais a unidade experimental. Os fatores (sexo e presença ou ausência de SCOS) foram considerados como efeito fixo e o bloco como efeito aleatório. A melhor estrutura de (co)variância foi escolhida com base no menor valor do critério de Akaike corrigido. Os dados foram submetidos a análise de variância pelo procedimento PROC MIXED do SAS (2012-2020, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA; version 9.0) e as médias comparadas pelo teste Tukey a 0,05 de probabilidade para ocorrência do erro tipo I. Tendências foram consideradas entre 0,05 e 0,10.

As análises estatísticas das variáveis foram realizadas com prévia comprovação dos supostos matemáticos de distribuição normal (Teste de ShapiroWilk) e homocedasticidade das variâncias (Teste de Bartlett).

O peso inicial das mães ($387 \pm 13,94$ kg) foi adicionado ao modelo como covariável de todas as variáveis. Como inicialmente tinham animais filhos de novilhas de 1ª e 2ª IATF, esse efeito também foi adicionado ao modelo. O peso inicial das novilhas (covariável) e as IATFs (1ª ou 2ª) foram incluídos nas análises de todas as variáveis e removidos do modelo se $P \geq 0,05$.

3. RESULTADOS

Animais filhos de novilhas suplementadas CSCOS apresentaram maior pH na carcaça no momento do abate ($P = 0,02$; Tabela 1). Além disso, as fêmeas apresentaram menor pH na carcaça no momento do abate quando comparadas aos machos ($P < 0,01$). Contudo, 24 horas após o abate houve efeito de interação ($P < 0,01$) SCOS \times S sobre o pH na carcaça da progênie. Machos filhos de novilhas que receberam suplementação CSCOS apresentaram maior pH 24 horas após o abate quando comparados a machos filhos de novilhas que receberam suplementação SSCOS (Figura 1).

Tabela 1. Temperaturas e pH na carcaça da progênie de novilhas Nelore suplementadas SSCOS e CSCOS durante os terços médio e final da gestação

Variáveis	Tratamentos				EPM	p-valor		
	Fêmea		Macho			SCOS	Sexo	SCOS \times S
	SSCOS	CSCOS	SSCOS	CSCOS				
pH abate	6,58	6,68	6,91	7,10	0,05	0,02	<0,01	0,41
T abate, °C	36,5	37,1	36,7	37,0	0,38	0,29	0,93	0,72
T 24 h, °C	2,57	2,32	3,10	3,04	0,13	0,16	<0,01	0,34

SSCOS = Sem sais de cálcio de óleo de soja; CSCOS = Com sais de cálcio de óleo de soja; EPM = Erro padrão da média; SCOS = Sais de cálcio de óleo de soja; S = Sexo; T = temperatura. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si. Letras diferentes na mesma linha são estatisticamente significativas ao nível de 10% de probabilidade.

A suplementação CSCOS durante a gestação das novilhas Nelore não afetou a composição química dos bifes de sua progênie ($P > 0,05$; Tabela 2). Fêmeas apresentaram menor teor de umidade quando comparadas aos machos ($P = 0,02$; Tabela 2). Não houve efeito de interação ($P > 0,05$) SCOS \times S sobre a composição

química e coloração dos bifes, coloração da gordura subcutânea, FC, CoTot e PPC da progênie. Fêmeas apresentaram maiores valores de a^* , b^* , c^* e L^* no bife quando comparadas aos machos ($P < 0,05$; Tabela 2). O contrário foi observado para valores de H nos bifes ($P = 0,02$). Houve tendência ($P = 0,06$) da suplementação com SCOS durante a gestação das novilhas impactar os valores L^* nos bifes da progênie. No qual, a progênie de novilhas CSCOS apresentaram menor valor L^* no bife quando comparados a progênie de novilhas SSCOS. Fêmeas apresentaram maiores valores de b^* e c^* na gordura subcutânea dos bifes quando comparadas aos machos ($P < 0,05$; Tabela 2). Contudo, machos apresentaram maior valor L^* na gordura subcutânea em comparação às fêmeas ($P = 0,03$).

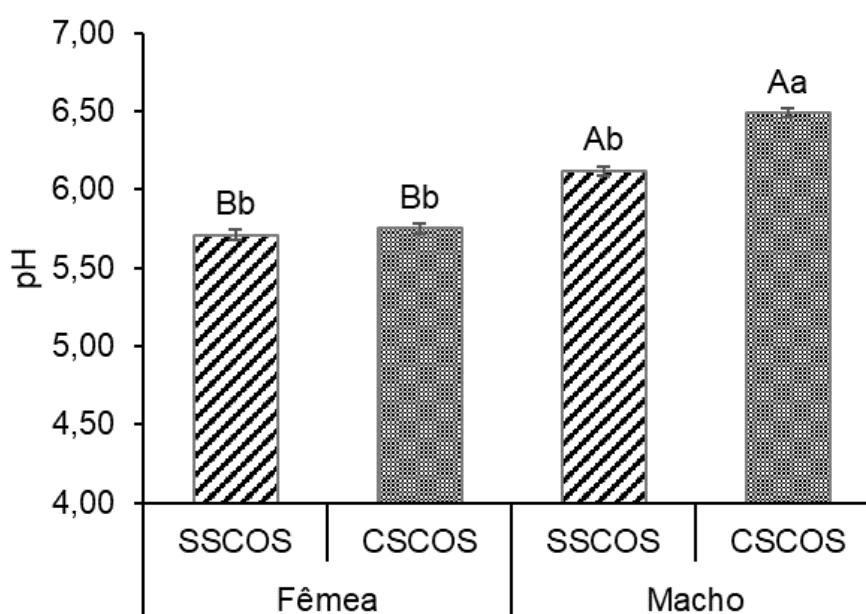


Figura 1. Valores de pH na carcaça 24 horas após o abate da progênie de novilhas Nelore suplementadas sem sais de cálcio de óleo de soja (SSCOS) e com sais de cálcio de óleo de soja (CSCOS) durante os terços médio e final da gestação.

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais para sexo (Fêmea vs Macho) dentro de suplementação e letras minúsculas iguais para suplementação (SSCOS vs CSCOS) dentro de sexo não diferem entre si pelo teste Tukey ($P > 0,05$).

Houve efeito de interação ($P = 0,02$) SCOS \times S sobre a PPD. Em que, fêmeas filhas de novilhas CSCOS apresentaram menor PPD quando comparadas às fêmeas filhas de novilhas SSCOS (Figura 2). Fêmeas apresentaram menor PPC quando comparadas aos machos ($P < 0,01$). Não houve efeito da nutrição materna gestacional com SCOS durante os terços médio e final da gestação e interação SCOS \times S sobre

a FC e CoTot dos bifos de sua progênie ($P > 0,05$; Tabela 2). Fêmeas apresentaram menor força de cisalhamento nos bifos quando comparadas aos machos ($P < 0,01$).

Tabela 2. Características qualitativas do bife da progênie de novilhas Nelore suplementadas SSCOS e CSCOS durante os terços médio e final da gestação

Variáveis	Tratamentos				EPM	p-valor		
	Fêmea		Macho			SCOS	Sexo	SCOS × S
	SSCOS	CSCOS	SSCOS	CSCOS				
<i>Composição química, %</i>								
Umidade	72,9	73,2	74,6	74,3	0,37	0,97	0,02	0,48
Proteína	22,5	22,8	22,4	22,2	0,16	0,67	0,15	0,16
Matéria mineral	1,33	1,34	1,43	1,60	0,13	0,47	0,18	0,51
Extrato etéreo	3,32	2,69	1,60	1,84	0,30	0,58	0,01	0,23
<i>Coloração do bife</i>								
a*	15,4	15,9	11,6	11,5	0,42	0,68	<0,01	0,58
b*	13,2	12,7	10,8	10,4	0,33	0,27	<0,01	0,90
c*	20,4	20,4	15,8	15,6	0,49	0,87	<0,01	0,79
h	40,9	38,9	42,9	42,2	0,77	0,14	0,02	0,46
L*	38,1	36,4	36,3	35,9	0,51	0,06	0,05	0,20
<i>Coloração da gordura subcutânea</i>								
a*	3,70	2,66	3,32	2,98	0,38	0,12	0,93	0,40
b*	18,2	17,2	16,4	16,1	0,51	0,25	0,03	0,52
c*	18,7	17,5	16,8	16,5	0,57	0,21	0,04	0,47
h	78,7	81,5	78,9	79,6	1,11	0,20	0,51	0,42
L*	69,5	71,8	73,2	73,1	0,78	0,25	0,03	0,22
<i>Perdas</i>								
PPC, %	24,4	23,9	31,5	28,4	1,26	0,08	<0,01	0,18
<i>Maciez</i>								
FC, kgf	4,02	4,10	5,36	5,31	0,18	0,92	<0,01	0,72
CoTot, mg/g	1,28	1,31	1,20	1,19	0,05	0,85	0,06	0,58

SSCOS = Sem sais de cálcio de óleo de soja; CSCOS = Com sais de cálcio de óleo de soja; EPM = Erro padrão da média; SCOS = Sais de cálcio de óleo de soja; S = Sexo; a* = Cromo no eixo vermelho-verde; b* = Cromo no eixo amarelo-azul; c* = Cromo; h = Ângulo de tonalidade; L* = Luminosidade; PPC = Perda por descongelamento; PPC = Perda por cocção; FC = Força de cisalhamento; CoTot = Colágeno total. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si. Letras diferentes na mesma linha são estatisticamente significativas ao nível de 10% de probabilidade.

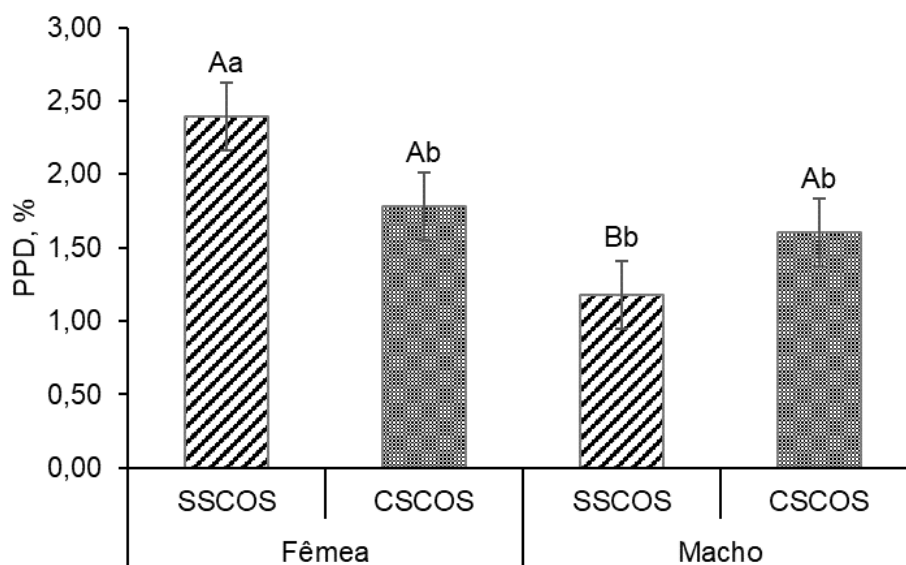


Figura 2. Perda por descongelamento (PPD) no bife da progênie de novilhas Nelore suplementadas sem sais de cálcio de óleo de soja (SSCOS) e com sais de cálcio de óleo de soja (CSCOS) durante os terços médio e final da gestação.

Médias seguidas de letras maiúsculas iguais para sexo (Fêmea vs Macho) dentro de suplementação e letras minúsculas iguais para suplementação (SSCOS vs CSCOS) dentro de sexo não diferem entre si pelo teste Tukey ($P > 0,05$).

4. DISCUSSÃO

Estudos avaliando os efeitos que as alterações nutricionais durante a fase gestacional de fêmeas causam na progênie têm sido estudados ao longo dos últimos anos (Greenwood e Bell, 2017; Nickles et al., 2019; Rodrigues et al., 2020; Harvey et al., 2021; Serwatka et al., 2023). Contudo, o foco principal destas pesquisas têm sido a avaliação da nutrição proteica ou energética materna e seus efeitos sobre o desempenho da progênie (Brandão et al., 2020; Ricks et al., 2020; Cracco et al., 2021; Rosa-Velazquez et al., 2021; Nascimento et al., 2024), sendo, portanto, limitados estudos que avaliaram os efeitos da suplementação materna com ácidos graxos poli-insaturados sobre a qualidade da carne da progênie (Martin et al., 2018; Lugarà et al., 2022; Rosa-Velazquez et al., 2022).

Superiores valores de pH encontrados na carcaça de machos filhos de novilhas suplementadas com SCOS durante os terços médio e final da gestação podem ser explicados pelo maior grau de marmoreio destes animais ao final da fase de terminação (Capítulo 2). Correlação positiva entre marmoreio e pH na carcaça foram encontradas em trabalhos anteriores (Przybylski et al., 2007; Borler et al., 2010;

Czarniecka-Skubina et al., 2010). O aumento nos valores de pH paralelamente aos inferiores valores L* no bife da progênie de novilhas CSCOS apontam para a hipótese que as reservas de glicogênio destes animais foram inferiores ao grupo controle (SSCOS) (Dokmanovic et al., 2015). Ademais, valores L* inferiores também podem ser resultado de elevados valores de pH e consequente aumento da capacidade de retenção de água e reduzida reflectância nos bifos (Ramanathan et al., 2020).

Comportamento similar para as variáveis pH e valores L* foi encontrado no bife da progênie fêmea CSCOS, complementarmente, inferior PPD encontrada neste grupo pode ser associada a superior valor de pH na carcaça e maior capacidade de retenção de água (Hughes et al., 2014). Este comportamento similar entre os sexos poderia levar a uma carne com elevada dureza e menor palatabilidade (Wulf et al., 2002), contudo apesar destas alterações, a força de cisalhamento não foi alterada pelo tratamento CSCOS, mostrando que as alterações nestes parâmetros não foram capazes de alterar a maciez do bife.

O decréscimo no pH 24 horas após o abate deve-se ao processo de *rigor mortis*, em que as reservas de glicogênio são consumidas em condições anaeróbias (Braden, 2013). Os valores mais altos de pH na carcaça dos machos inteiros em relação às fêmeas podem ser explicados pela maior reatividade destes animais pré-abate (Nassu et al., 2017). Os valores de pH neste estudo corroboram com os valores encontrados por Zaujec et al. (2012) e Yüksel et al. (2024), os quais avaliaram a qualidade da carne bovinos machos e fêmeas. Carnes com maiores valores de pH tendem a ser mais escuras pela sua maior capacidade de retenção de água (Povše et al., 2015), o que pode ser confirmado pelo menor valor L encontrado nos machos.

A temperatura final observada nas carcaças de ambos os sexos está em concordância com os dados relatados na literatura (Page et al., 2001). No entanto, enquanto a literatura descreve uma correlação positiva entre a temperatura final e a espessura de gordura subcutânea (Klont et al., 1999; Page et al., 2001), os dados obtidos no presente estudo não indicam tal correlação, pelo fato de as fêmeas possuírem maior espessura de gordura subcutânea e menor temperatura na carcaça em relação aos machos. A maior deposição de gordura subcutânea nas carcaças aparenta exercer função de isolamento térmico, evitando que a temperatura da

carcaça atinja níveis reduzidos ao final do processo de transformação do músculo em carne (Aalhus et al., 2001). Contudo, pode-se atrelar a menor temperatura final na carcaça das fêmeas ao seu menor peso corporal ao abate em comparação aos machos, uma vez que carcaças mais leves possuem taxa de resfriamento mais rápida e temperatura final inferior (Klont et al., 1999).

Machos possuem maior umidade no bife em relação às fêmeas devido à sua maior proporção de músculo e menor de gordura (Petričević et al., 2015). O contrário ocorre com os teores de extrato etéreo no bife dos machos, em que estes possuem menores teores em relação às fêmeas, pelo fato destas possuírem maior teor de gordura corporal (Pogorzelska-Przybyłek et al., 2021). Concentrações semelhantes de umidade, proteína, extrato etéreo e matéria mineral nos bifos de machos e fêmeas foram encontradas nos estudos de Zhang et al. (2010), Kučević et al. (2019) e Pogorzelska-Przybyłek et al. (2021).

Em um estudo avaliando a cor do músculo em bovinos, machos tiveram menores valores a^* , b^* e L em relação às fêmeas, assim como reportado neste estudo (Page et al., 2001). Animais mais jovens tendem a ter carne mais clara e brilhante visto que a concentração de mioglobina no músculo aumenta com a idade (Muir et al., 1998). Gagaoua et al. (2018) encontrou relações semelhantes ao presente estudo para os valores de h e c^* entre machos e fêmeas. Valores superiores de croma (c^*) observados nos bifos de fêmeas indicam uma carne com maior brilho e saturação de cor, o que pode ser atribuído ao maior teor de marmoreio presente nesses animais (Węglarz, 2010; Gagaoua et al., 2018). Por outro lado, a explicação para o maior valor h encontrado nos machos em relação às fêmeas no presente estudo é desconhecida, visto que em condições usuais novilhas apresentam maior valor h na carne devido ao seu superior teor de gordura intramuscular em relação aos touros (Carvalho et al., 2016), além de que há correlação positiva entre valor h e gordura intramuscular (Pflanzer e Felício, 2011).

Superior força de cisalhamento encontrada nos machos pode ser explicada pelo seu reduzido grau de marmoreio em relação às fêmeas (Kučević et al., 2019). A força de cisalhamento está diretamente relacionada à maciez sendo valores inferiores a 4,6 kgf considerado para carnes classificadas como macias (Shackelford et al.,

1991). Menores perdas por cocção observadas nos bifes das fêmeas em relação aos machos corrobora com dados encontrados na literatura (Zhang et al., 2010; Petričević et al., 2015; Kučević et al., 2019). Adicionalmente, os valores de perda por cocção para ambos os sexos estão dentro da variação esperada (entre 13,1% e 34,54%) para bifes de bovinos de corte (Muchenje et al., 2009).

Os resultados aqui encontrados são efeitos secundários da suplementação materna com sais de cálcio de óleo de soja, em razão da alteração no pH da carcaça da progênie CSCOS ser advindo do maior grau de marmoreio destes animais. Apesar do efeito fenotípico na carcaça da progênie, o efeito no pH não pode ser totalmente explicado por esta variável, visto que a expressão gênica de PPAR γ na progênie CSCOS não foi estatisticamente diferente do grupo SSCOS. Desse modo, há a necessidade de mais estudos que avaliem os efeitos da suplementação materna com AGPI durante a gestação sobre a qualidade da carne da progênie, uma vez que os efeitos são dependentes da dosagem, tipo de AGPI fornecido e período gestacional. Além disso, investigações adicionais são necessárias para elucidar as lacunas do conhecimento que permeiam os mecanismos envolvidos nas alterações gênicas e fenotípicas causadas na progênie de mães suplementadas com ácidos graxos poli-insaturados.

5. IMPLICAÇÕES PRÁTICAS

Os impactos da suplementação materna com sais de cálcio de óleo de soja, fontes de ácidos graxos poli-insaturados ômega 6, durante a gestação sobre a qualidade da carne da progênie é de grande importância para o sistema produtivo de bovinos, visto que a demanda por uma alimentação saudável vem se tornando um dos principais pilares na vida humana. O consumo de alimentos saudáveis não só pode impactar a saúde humana, mas também o meio ambiente como um todo, haja visto que a melhoria na qualidade do produto vem atrelada à uma maior eficiência no sistema de produção, gerando uma menor demanda no uso da terra. Adicionalmente, esta pesquisa permitiu o estudo da qualidade da carne entre fêmeas e machos inteiros abatidos com 18 e 20 meses de idade, respectivamente. A comparação entre os sexos e o entendimento do produto gerado por cada um permite ao abatedouro a adequada

manutenção das carcaças ao longo de toda a linha de produção (transporte, abate, evisceração, armazenamento, embalagem e comercialização).

6. CONCLUSÃO

A suplementação materna com sais de cálcio de óleo de soja afetou o pH na carcaça da progênie ao abate e 24 horas após o abate na carcaça dos machos, contudo esta alteração não foi capaz de modificar a maciez da carne da progênie. Os resultados do presente estudo apontam para a hipótese que a alteração na variável acima citada foi em decorrência do maior marmoreio na progênie macho CSCOS, expressando um efeito secundário da suplementação materna com SCOS. Investigações adicionais são necessárias para elucidar os mecanismos subjacentes às modificações observadas na carne da progênie, decorrentes da suplementação materna com sais de cálcio de óleo de soja.

7. REFERÊNCIAS

- Aalhus JL, Janz JA, Tong AK, Jones SD, Robertson WM (2001) The influence of chilling rate and fat cover on beef quality. **Canadian Journal of Animal Science** 81(3):321-30.
- Boler DD, Dilger AC, Bidner BS, Carr SN, Eggert JM, Day JW, Ellis M, McKeith FK, Killefer J (2010) Ultimate pH explains variation in pork quality traits. **Journal of Muscle foods** 21(1):119-30.
- Braden KW (2013) Converting muscle to meat: the physiology of rigor. **The science of meat quality** 79-97.
- Brandão AP, Cooke RF, Schubach KM, Rett B, Souza OA, Schachtschneider CL, Perry GA, Arispe SA, Jump DB, Pohler KG, Bohnert DW, Marques RS (2020) Supplementing Ca salts of soybean oil to late-gestating beef cows: impacts on performance and physiological responses of the offspring **Journal of Animal Science**. 98(8):1–12.
- Cañeque V, Pérez C, Velasco S, Diaz MT, Lauzurica S, Álvarez I, De Huidobro FR, Onega E, De la Fuente J (2004) Carcass and meat quality of light lambs using principal component analysis. **Meat Science** 67(4):595-605.
- Cañeque V, Sañudo C (2005) Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. **Zaragoza: INIA** 1 ed:448.
- Carvalho RM, Boari CA, Villela SD, Pires AV, Mourthé MH, Oliveira FR, Dumont MA, Gontijo RP, Lobo-Jr AR, Martins PG (2016) Differences between sexes, muscles and aging times on the quality of meat from Wagyu×Angus cattle finished in feedlot. **Animal Production Science** 58(2):350-357.
- Cerisuelo A, Baucells MD, Gasa J, Coma J, Carrion D, Chapinal N, Sala R (2009) Increased sow nutrition during midgestation affects muscle fiber development and meat quality, with no consequences on growth performance. **Journal of Animal Science** 87(2):729-39.
- Ci L, Sun H, Huang Y, Guo J, Albrecht E, Zhao R, Yang X (2014) Maternal dietary fat affects the LT muscle fatty acid composition of progeny at weaning and finishing stages in pigs. **Meat science** 96(3):1141-6.
- Costa e Silva LF, Valadares Filho SC, Rotta PP, Marcondes MI, Silva FF, Paulino MF, Gionbelli MP, Chizzotti ML (2016) Predição da composição corporal e da carcaça de bovinos de corte. **Exigências Nutricionais de Zebuínos Puros e Cruzados - BR CORTE** 5:127–150.

- Cracco RC, Bussiman FD, Polizel GH, Furlan É, Garcia NP, Poit DA, Pugliesi G, Santana MH (2021) Effects of maternal nutrition on female offspring weight gain and sexual development. **Frontiers in Genetics** 12:737382.
- Czarniecka-Skubina E, Przybylski W, Jaworska D, Kajak-Siemaszko K, Wachowicz I (2010) Effect of pH24 and intramuscular fat content on technological and sensory quality of pork. **Polish journal of food and nutrition sciences** 60(1).
- Dokmanovic M, Baltic MZ, Duric J, Ivanovic J, Popovic L, Todorovic M, Markovic R, Pantic S 2015 Correlations among stress parameters, meat and carcass quality parameters in pigs. **Asian-Australasian journal of animal sciences** 28(3):435.
- Ferguson JD, Sklan D, Chalupa WV, Kronfeld DS (1990) Effects of Hard Fats on In Vitro and In Vivo Rumen Fermentation Milk Production, and Reproduction in Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, 73(10), 2864–2879.
- Francisco A, Alves SP, Portugal PV, Pires VM, Dentinho MT, Alfaia CM, Jerónimo E, Prates JA, Santos-Silva J, Bessa RJ (2016) Effect of feeding lambs with a tanniferous shrub (rockrose) and a vegetable oil blend on fatty acid composition of meat lipids. **Animal** 10(12):2061-73.
- Gagaoua M, Picard B, Monteils V (2018) Associations among animal, carcass, muscle characteristics, and fresh meat color traits in Charolais cattle. **Meat science** 140:145-56.
- Garcia M, Greco LF, Favoreto MG, Marsola RS, Martins LT, Bisinotto RS, Shin JH, Lock AL, Block E, Thatcher WW, Santos JEP, Staples CR (2014) Effect of supplementing fat to pregnant nonlactating cows on colostral fatty acid profile and passive immunity of the newborn calf. **Journal of Dairy Science** 97(1):392–405.
- Greenwood P, Clayton E, Bell A (2017) Developmental programming and beef production. **Anim. Front.** 7:38.
- Hankins OG, Howe PE (1946) Estimation of the composition of beef carcasses and cuts. **Washington: United States Department of Agriculture, Technical Bulletin USDA** 926:1–19.
- Harvey KM, Cooke RF, Marques RD (2021) Supplementing trace minerals to beef cows during gestation to enhance productive and health responses of the offspring. **Animals** 11(4):1159.
- Heras-Molina A, Pesantez-Pacheco JL, Astiz S, Garcia-Contreras C, Vázquez Gómez M, Encinas Cerezo MT, Óvilo C, Isabel Redondo B, Gonzalez-Bulnes A (2020) Maternal Supplementation with Polyphenols and Omega-3 Fatty Acids during Pregnancy: Effects on Growth, Metabolism, and Body Composition of the Offspring. **Animals** 10(1946):1-18.

- Hughes JM, Oiseth SK, Purslow PP, Warner RD (2014) A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness. **Meat science** 98(3):520-32.
- ISO (1998) Meat and meat products - Determination of total ash (Reference method).
- Klont RE, Barnier VM, Smulders FJ, Van Dijk A, Hoving-Bolink AH, Eikelenboom G (1999) Post-mortem variation in pH, temperature, and colour profiles of veal carcasses in relation to breed, blood haemoglobin content, and carcass characteristics. **Meat Science** 53(3):195-202.
- Kučević D, Papović T, Tomović V, Plavšić M, Jajić I, Krstović S, Stanojević D (2019) Influence of farm management for calves on growth performance and meat quality traits duration fattening of Simmental bulls and heifers. **Animals** 9(11):941.
- Ladeira MM, Schoonmaker JP, Gionbelli MP, Dias JCOO, Gionbelli TRS, Carvalho JRR, Teixeira PD (2016) Nutrigenomics and beef quality: A review about lipogenesis. **International Journal of Molecular Sciences** 17(6):1–21.
- Lugarà R, Realini L, Kreuzer M, Giller K (2022) Effects of maternal high-energy diet and spirulina supplementation in pregnant and lactating sows on performance, quality of carcass and meat, and its fatty acid profile in male and female offspring. **Meat Science** 187:108769.
- Martin ACC, Coleman DN, Garcia LG, Furnus CC, Relling AE (2018) Prepartum fatty acid supplementation in sheep. III. Effect of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid during finishing on performance, hypothalamus gene expression, and muscle fatty acids composition in lambs. **Journal of Animal Science**. 96(12):5300-5310.
- Muchenje V, Dzama K, Chimonyo M, Strydom PE, Hugo A, Raats JG (2009) Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health: A review. **Food chemistry** 112(2):279-89.
- Muir PD, Deaker JM, Bown MD (1998) Effects of forage-and grain-based feeding systems on beef quality: A review. **New Zealand journal of agricultural research** 41(4):623-35.
- Nascimento KB, Galvão MC, Meneses JA, Ramírez-Zamudio GD, Pereira DG, Paulino PV, Casagrande DR, Gionbelli TR, Ladeira MM, Duarte MS, Lóor JJ (2024) Maternal protein supplementation during mid-gestation improves offspring performance and metabolism in beef cows. **Journal of Animal Science** 102:skae058.
- Nassu RT, Tullio RR, Berndt A, Francisco VC, Diesel TA, Alencar MM (2017) Effect of the genetic group, production system and sex on the meat quality and sensory traits of beef from crossbred animals. **Tropical animal health and production** 49:1289-94.

- Nickles KR, Hamer L, Coleman DN, Relling AE (2019) Supplementation with eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids in late gestation in ewes changes adipose tissue gene expression in the ewe and growth and plasma concentration of ghrelin in the offspring. **Journal of Animal Science**. 97(6):2631-43.
- Noble RC, Shand JH, Drummond JT, Moore AH (1978) " Protected " Polyunsaturated Fatty Acid in the Diet of the Ewe and the Essential Fatty Acid Status of the Neonatal Lamb. **The Journal of Nutrition** 108:1868–1876.
- Page JK, Wulf DM, Schwotzer TR (2001) A survey of beef muscle color and pH. **Journal of Animal Science** 79(3):678-87.
- Petričević M, Aleksić S, Stanišić N, Nikšić D, Stanojković A, Petričević V, Gogić M, Mandić V (2015) Comparative testing of slaughter traits and meat quality of male and female Simmental cattle. **Biotechnology in Animal Husbandry** 31(3):375-83.
- Pflanzer SB, de Felício PE (2011) Moisture and fat content, marbling level and color of boneless rib cut from Nellore steers varying in maturity and fatness. **Meat Science** 87(1):7-11.
- Pogorzelska-Przybyłek P, Nogalski Z, Sobczuk-Szul M, Momot M (2021) The effect of gender status on the growth performance, carcass and meat quality traits of young crossbred Holstein-Friesianx Limousin cattle. **Animal bioscience** 34(5):914.
- Povše MP, Čandek-Potokar M, Gispert M, Lebret B (2015) pH value and water-holding capacity. **A handbook of reference methods for meat quality assessment** 22.
- Przybylski WI, Siczko LE, Jaworska DA, Czarniecka-Skubina E, Niemyjski ST (2007) Estimation of conditionality of pork sensory quality by using multivariate analysis. **Archiv Tierzucht**. 50:125-35.
- Ramanathan R, Hunt MC, Mancini RA, Nair MN, Denzer ML, Suman SP, Mafi GG (2020) Recent updates in meat color research: Integrating traditional and high-throughput approaches. **Meat and Muscle Biology** 4(2).
- Ricks RE, Cook EK, Long NM (2020) Effects of supplementing ruminal-bypass unsaturated fatty acids during late gestation on beef cow and calf serum and colostrum fatty acids, transfer of passive immunity, and cow and calf performance. **Applied Animal Science** 36(2):271-84.
- Rodrigues LM, Schoonmaker JP, Resende FD, Siqueira GR, Neto OR, Gionbelli MP, Gionbelli TR, Ladeira MM (2020) Effects of protein supplementation on Nellore cows' reproductive performance, growth, myogenesis, lipogenesis and intestine development of the progeny. **Animal Production Science** 61(4):371-80.
- Roque-Jiménez JA, Oviedo-Ojeda MF, Whalin M, Lee-Rangel HA, Relling AE (2023) Ewe early gestation supplementation with eicosapentaenoic and

docosahexaenoic acids affects the liver, muscle, and adipose tissue fatty acid profile and liver mRNA expression in the offspring. **Journal of Animal Science**, 101:1–16.

Rosa-Velazquez M, Jaborek JR, Pinos-Rodriguez JM, Relling AE. (2021) Maternal supply of fatty acids during late gestation on offspring's growth, metabolism, and carcass characteristics in sheep. **Animals**. 11(3):719.

Rosa-Velazquez M, Wang Y, Sanders A, Pyle S, Garcia LG, Bohrer BM, Relling AE (2022) Effects of maternal dietary fatty acids during mid-gestation on growth, glucose metabolism, carcass characteristics, and meat quality of lamb progeny that were fed differing levels of dry matter of intake. **Meat Science** 194:108991.

Serwatka CA, Griebel-Thompson AK, Eiden RD, Kong KL (2023) Nutrient supplementation during the prenatal period in substance-using mothers: A narrative review of the effects on offspring development. **Nutrients** 15(13):2990.

Shackelford SD, Morgan JB, Cross HR, Savell JW (1991) Identification of threshold levels for Warner-Bratzler shear force in beef top loin steaks. **Journal of Muscle Foods** 2(4):289-96.

Shackelford SD, Wheeler TL, Koohmaraie M (1999) Evaluation of slice shear force as an objective method of assessing beef longissimus tenderness. **Journal of Animal Science** 77(10):2693-9.

Wulf DM, Emnett RS, Leheska JM, Moeller SJ (2002) Relationships among glycolytic potential, dark cutting (dark, firm, and dry) beef, and cooked beef palatability. **Journal of Animal Science** 80(7):1895-903.

Yüksel S, Karaçuhallılar A, Balta B, Şimşek U, Yüksel F, Memiş M, Çelik M (2024) Effect of breed and sex on carcass traits, meat quality and fatty acid composition of young cattle formed based on animal protein production and qualified meat in plateau condition. **Archives Animal Breeding** 67(3):409-20.

Zaujec K, Mojto J, Gondeková M (2012) Comparison of meat quality in bulls and cows. *The Journal of Microbiology*, **Biotechnology and Food Sciences** 1:1098.

Zhang YY, Zan LS, Wang HB, Xin YP, Adoligbe CM, Ujan JA (2010) Effect of sex on meat quality characteristics of Qinchuan cattle. **African journal of biotechnology**. 9(28):4504-9.