

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE VETERINÁRIA
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

Rosimeire Pereira da Silva

**EFEITO DO GENÓTIPO E DA INCLUSÃO DE ÓLEO DE FRITURA RESIDUAL
SOBRE O DESEMPENHO, QUALIDADE DA CARNE E SEU IMPACTO SOBRE A
EMIÇÃO DE ÓXIDO NITROSO NO SOLO DE NOVILHAS CONFINADAS**

Belo Horizonte- MG
2025

Rosimeire Pereira da Silva

**EFEITO DO GENÓTIPO E DA INCLUSÃO DE ÓLEO DE FRITURA RESIDUAL
SOBRE O DESEMPENHO, QUALIDADE DA CARNE E SEU IMPACTO SOBRE A
EMIÇÃO DE ÓXIDO NITROSO NO SOLO DE NOVILHAS CONFINADAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Zootecnia.

Área de concentração: Produção Animal

Orientador: Prof. Dr. Leandro Sâmia Lopes
Coorientador: Dr. Ramon Costa Alvarenga

Belo Horizonte- MG
2025

S586e Silva, Rosimeire Pereira da, 1992-
Efeito do genótipo e da inclusão de óleo de fritura residual sobre o desempenho, qualidade da carne e seu impacto sobre a emissão de óxido nítrico no solo de novilhas confinadas/ Rosimeire Pereira da Silva.- 2025.
83 f. il.

Orientador: Leandro Sâmia Lopes
Co-orientador: Ramon Costa Alvarenga
Tese (Doutorado) apresentada à Faculdade de Medicina Veterinária da UFMG, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Zootecnia.
Área de Concentração: Produção Animal
Inclui Bibliografia.

1. Nelore - Teses – 2. Carne – Qualidade – Teses – 3. Bovino de corte – Teses - Desempenho produtivo – Teses - I. Lopes, Leandro Sâmia - II. Alvarenga, Ramon Costa - III. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária - IV. Título.

CDD – 664

Bibliotecária responsável Cristiane Patrícia Gomes CRB 2569
Biblioteca da Escola de Veterinária, UFMG.



ESCOLA DE VETERINÁRIA DA UFMG
COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA
Av. Antônio Carlos 6627 - CP 567 - CEP 30123-970 - Belo Horizonte- MG
TELEFONE (31)-3409-2173

www.vet.ufmg.br/academicos/poa-graduacao
E-mail: opgootec@vet.ufmg.br

ATA DE DEFESA DE TESE DA ALUNA ROSIMEIRE PEREIRA DA SILVA

As 14:00 horas do dia 28 de abril de 2025, reuniu-se, a Comissão Examinadora de Tese, aprovada por Ad referendum no dia 20/03/2025, para julgar, em exame final, a defesa da tese intitulada:

Efeito do genótipo e da inclusão de óleo de fritura residual na dieta sobre o desempenho, qualidade da carne e seu impacto sobre a emissão de óxido nítrico no solo de novilhas confinadas, como requisito final para a obtenção do Grau de Doutor em Zootecnia, área de concentração Produção Animal.

Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, Prof. Leandro Sâmia Lopes, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares da Defesa de Tese, passou a palavra ao (a) candidato (a), para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do candidato (a). Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento da tese, tendo sido atribuídas as seguintes indicações:

	Aprovada	Reprovada
Prof(a)/Dr.(a) Leandro Sâmia Lopes	☒	☐
Pesq(a)/Dr.(a) Marcia Cristina T. Silveira	☒	☐
Pesq(a)/Dr.(a) Bruno José Rodrigues Alves	☒	☐
Prof(a)/Dr.(a) Luciano Soares Lima	☒	☐
Dr.(a) Fernando Antônio de Souza	☒	☐

Pelas indicações, o (a) candidato (a) foi considerado (a): ☒ Aprovado (a)
☐ Reprovado (a)

Para concluir o Doutorado, o(a) candidato(a) deverá entregar 03 volumes encadernados da versão final da tese atestando, se houver, as modificações sugeridas pela banca, e a comprovação de submissão de pelo menos um artigo científico em periódico recomendado pelo Colegiado dos Cursos. Para tanto terá o prazo máximo de 60 dias a contar da data defesa.

O resultado final, foi comunicado publicamente ao (a) candidato (a) pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ata, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora e encaminhada juntamente com um exemplar da tese apresentada para defesa.

Belo Horizonte, 28 de abril de 2025.

Assinatura dos membros da banca:

 Documento assinado digitalmente
LEANDRO SAMIA LOPES
Data: 28/04/2025 14:03:47-0300
Verifique em: <https://validar.br.gov.br>

 Documento assinado digitalmente
MARCIA CRISTINA TEIXEIRA DA SILVEIRA
Data: 28/04/2025 14:26:02-0300
Verifique em: <https://validar.br.gov.br>

 Documento assinado digitalmente
LUCIANO SOARES DE LIMA
Data: 28/04/2025 10:48:44-0300
Verifique em: <https://validar.br.gov.br>

 Documento assinado digitalmente
FERNANDO ANTÔNIO DE SOUZA
Data: 28/04/2025 14:04:18-0300
Verifique em: <https://validar.br.gov.br>

 Documento assinado digitalmente
BRUNO JOSÉ RODRIGUES ALVES
Data: 28/04/2025 14:03:51-0300
Verifique em: <https://validar.br.gov.br>

Doutorado/Atadefesa.doc

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por me conceder força, saúde e sabedoria ao longo dessa caminhada.

À minha família, agradeço pelo amor incondicional e incentivo constante. Aos amigos de longa data e às amizades cultivadas durante a minha jornada no doutorado, meu muito obrigado pela parceria, companheirismo e pelas trocas que tornaram essa caminhada mais leve.

Sou grato ao meu orientador, Dr. Leandro Sâmia Lopes; ao coorientador, Dr. Ramon Costa Alvarenga; à professora Dra. Ângela Maria Quintão Lana; e à pesquisadora Dra. Mônica Matoso Campanha, pela orientação, paciência e confiança durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia EV/UFMG, agradeço pela formação de qualidade e pelo suporte institucional. À CAPES, pelo apoio financeiro essencial à realização desta pesquisa. Agradeço ao Instituto Brasileiro de Desenvolvimento e Sustentabilidade (IABS) pelo suporte técnico e científico.

Sou grato aos parceiros: Embrapa Milho e Sorgo, Embrapa Agrobiologia, aos Laboratórios de Ciência da Carne (UFV) e Nutrição e Crescimento Animal (ESALQ/USP) e ao Instituto de Zootecnia (IZ-Apta), pela colaboração, treinamentos e infraestrutura disponibilizada durante a execução do projeto.

Agradeço aos membros da banca de qualificação — Dr. Luciano Soares de Lima, Dr. Mário Luiz Chizzotti e Dr. Julcemar Dias Kessler — agradeço pela disponibilidade e sugestões valiosas.

À banca de defesa — Dra. Márcia Cristina Teixeira da Silveira, Dr. Bruno José Rodrigues Aves, Dr. Fernando Antônio de Sousa, Dr. Luciano Soares de Lima, e Dr. Leandro Sâmia Lopes — agradeço pela leitura atenta e pelas contribuições finais.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, muitíssimo obrigado! Em especial, aos meus parceiros de campo: Dilherme, Leonardo, Sérgio, Carlinhos, Carol, Yule, Thamara, Samuel, Lucas e Tânia.

RESUMO GERAL

Objetivou-se com este estudo avaliar o efeito do genótipo e da inclusão de óleo de fritura residual sobre o desempenho, qualidade da carne e seu impacto sobre a emissão de óxido nitroso no solo de novilhas confinadas. Foram utilizadas 20 novilhas da raça Nelore com peso inicial médio de $321,0 \pm 42,2$ e 20 novilhas cruzadas (Nelore x Angus) com peso inicial de $389,6 \pm 80,6$, oriundas do mesmo sistema de produção e com idade média de 15 meses de vida. Os animais foram confinados por 105 dias, recebendo dietas formuladas para ganho médio diário de 1,3 kg/dia. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado no arranjo fatorial de 2×2 (grupo genético x dieta) com dez repetições por tratamento. O desempenho produtivo dos animais foi avaliado durante todo o experimento por meio de pesagem, após o abate obteve-se o peso da carcaça quente (PCQ). O consumo de matéria seca individual (CMS) foi avaliada com o auxílio do indicador externo dióxido de titânio (TiO_2) e fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) como indicador interno. Amostras do músculo *Longissimus dorsi* (LD) dos animais experimentais foram coletados para análise da qualidade da carne (perda por cocção, força de cisalhamento, cor, composição química e perfil de ácidos graxos). O monitoramento das emissões de N_2O da decomposição das excretas foi realizado em um curral de confinamento sem a presença de animais, no período de 90 dias, utilizando câmaras estáticas. Foram realizados dois ensaios: um sob condições naturais de precipitação e outro com simulação de chuvas (30 mm diários). As análises dos dados foram realizadas no software de análise estatísticas R. As médias dos fatores isolados foram comparadas pelo teste F ($P < 0,05$) quando não houve efeito significativo da interação. No caso de ocorrência de interação significativa o teste de Tukey ($P < 0,05$) foi utilizado nas comparações do desdobramento. Não houve interação entre grupo genético e dieta para desempenho e características de carcaça ($P > 0,05$). As novilhas cruzadas apresentaram maior consumo de matéria seca (CMS) e GMD em comparação às Nelore. Quanto à qualidade da carne, ambos os genótipos e dietas apresentaram baixa capacidade em alterar o perfil de ácidos graxos no músculo *Longissimus dorsi*. Novilhas cruzadas que receberam óleo residual de fritura (ORF) na dieta apresentaram menor teor de umidade (69,58%) e maior teor de extrato etéreo (9,09%) em comparação aos demais tratamentos. Os maiores fluxos de N_2O ocorreram após a aplicação das excretas ao solo, com picos associados à umidade resultante das chuvas. No entanto, nem o genótipo dos animais nem a inclusão do óleo residual de fritura influenciaram significativamente as emissões de N_2O . Conclui-se que a adição de óleo residual de fritura na dieta não compromete o desempenho animal e pode ser utilizada como fonte energética alternativa, sem impacto negativo na qualidade da carne ou nas emissões de N_2O decorrente da decomposição das excretas em confinamento.

PALAVRAS-CHAVE: grupos genéticos; maciez; perfil de ácidos graxos; óxido nitroso; alimentos alternativos

GENERAL ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effect of genotype and the inclusion of residual frying oil on performance, meat quality, and its impact on nitrous oxide emissions from the soil of confined heifers. A total of 20 purebred Nelore heifers with an initial average weight of $321,0 \pm 42,2$ kg and 20 crossbred heifers (Nelore $\times$ Angus) with an initial average weight of $389,6 \pm 80,6$ kg, all originating from the same production system and with an average age of 15 months, were used. The animals were confined for 105 days and fed diets formulated for an average daily gain of 1,3 kg/day. A completely randomized design in a 2×2 factorial arrangement (genetic group $\times$ diet) with ten replicates per treatment was used. Animal performance was evaluated throughout the experiment through regular weighing, and hot carcass weight (HCW) was recorded after slaughter. Individual dry matter intake (DMI) was estimated using titanium dioxide (TiO_2) as an external marker and indigestible neutral detergent fiber (iNDF) as an internal marker. Samples of the *Longissimus dorsi* (LD) muscle were collected for meat quality analyses (cooking loss, shear force, color, chemical composition, and fatty acid profile). Monitoring of N_2O emissions from fecal decomposition was carried out in an unoccupied confinement pen over a 90-day period using static chambers. Two trials were conducted: one under natural precipitation conditions and another with simulated rainfall (30 mm per day). Data were analyzed using R statistical software. Means of isolated factors were compared by the F-test ($P < 0,05$) when no significant interaction was observed. In cases of significant interaction, comparisons were performed using Tukey's test ($P < 0,05$). No interaction between genetic group and diet was observed for performance or carcass traits ($P > 0,05$). Crossbred heifers showed higher dry matter intake (DMI) and average daily gain (ADG) compared to Nelore heifers. Regarding meat quality, neither genotype nor diet significantly altered the fatty acid profile of the *Longissimus dorsi* muscle. Crossbred heifers fed with residual frying oil (RFO) had lower moisture content (69,58%) and higher ether extract content (9,09%) compared to other treatments. The highest N_2O fluxes occurred after the application of excreta to the soil, with peaks associated with moisture resulting from rainfall. However, neither animal genotype nor the inclusion of residual frying oil significantly influenced N_2O emissions. It is concluded that the addition of residual frying oil to the diet does not compromise animal performance and can be used as an alternative energy source, without negatively affecting meat quality or emissions resulting from fecal decomposition in confinement systems.

KEYWORDS: genetic groups; tenderness; fatty acid profile; nitrous oxide; alternative feeds

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Precipitação (mm), temperatura máxima (Máx.) e mínima (Mín.) atmosférica durante o período de monitoramento das emissões de N ₂ O em confinamento de novilhas da raça Nelore e cruzamento industrial (Nelore x Angus) recebendo óleo de fritura residual.	70
Figura 2- Monitoramento das emissões de N ₂ O em confinamento de novilhas da raça Nelore e cruzamento industrial (Nelore x Angus) recebendo óleo residual de fritura na dieta.	71
Figura 3- (a; b) - Umidade do solo condições de precipitação natural (a); Umidade do solo em condições de precipitação simulada(b), nos diferentes tratamentos avaliados.....	73
Figura 4- (a; b) Fluxos de N ₂ O ($\mu\text{g N-N}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{h}^{-1}$) observados ao longo do período de monitoramento em excretas oriundas de novilhas Nelore e cruzadas (Nelore x Angus) em confinamento recebendo óleo de fritura residual	77

LISTA DE TABELAS

Table 1- Food and chemical composition of experimental diets.....	64
Table 2- Physical and chemical parameters of meat from Nellore and crossbred heifers (Angus × Nellore) finished in confinement receiving yellow grease in the diet.....	65
Table 3- Meat color and fat parameters of Nellore and crossbred (Angus × Nellore) heifers finished in confinement receiving yellow grease in the diet.	65
Table 4- Fatty acid profile (g/100g of FA) in the <i>Longissimus dorsi</i> muscle of Nellore and crossbred (Nellore x Angus) heifers finished in confinement receiving yellow grease in the diet.	66
Table 5 - Sum and ratios of fatty acids in the <i>Longissimus dorsi</i> muscle of Nellore and crossbred (Nellore x Angus) heifers finished in confinement receiving yellow grease in the diet.	66
Tabela 1- Composição alimentar e química das dietas experimentais ofertadas para as novilhas durante o confinamento.	71
Tabela 1- Análise química do solo da área onde foi realizado o ensaio.....	74
Tabela 3- Emissões acumuladas de óxido nitroso (mgN-N ₂ O/m ²) provenientes da decomposição de esterco de novilhas Nelore e cruzadas (Nelore x Angus) terminadas em confinamento recebendo óleo residual de fritura na dieta.	77

LISTA DE ABREVIACÕES

AGI – Ácidos graxos insaturados
AGM – Ácidos graxos monoinsaturados
AGP – Ácidos graxos poli-insaturados
AGS – Ácidos graxos saturados
C - Carbono
CA – Conversão alimentar
CH₄ – Metano
CLA – Ácido graxo conjugado
CMS – Consumo de matéria seca
CO₂ – Dióxido de carbono
DAA – Dias após aplicação
DFDN – Digestibilidade da fibra insolúvel em detergente neutro
DMO – Digestibilidade da matéria orgânica
DMS – Digestibilidade da matéria seca
DPB – Digestibilidade da proteína bruta
EA – Eficiência alimentar
EE – Extrato etéreo
FC – Força de cisalhamento
FDA – Fibra insolúvel em detergente ácido
FDN – Fibra insolúvel em detergente neutro
FDNi – Fibra em detergente neutro indigestível
GEE – Gases de efeito estufa
GMD – Ganho médio diário
GMDc – Ganho médio diário em carcaça
GP – Ganho de peso
GT – Ganho total
ha – Hectare
HDL – Lipoproteína de alta densidade
IMA – Instituto Mineiro de Agropecuária
LDL – Lipoproteína de baixa densidade
MM – Matéria mineral
MO – Matéria orgânica

MS – Matéria seca

N - Nitrogênio

N₂O – Óxido nitroso

NDT – Nutrientes digestíveis totais

NH₃ – Amônia

NH₄⁺ – Amônio

NO₃ – Nitrato

PB – Proteína bruta

PC – Perda por cocção

PC – Peso de carcaça

PCQ – Peso de carcaça quente

PVF – Peso vivo final

PVI – Peso vivo inicial

PVM – Peso vivo médio

RC – Rendimento de carcaça

TiO₂ – Dióxido de titânio

UA – Unidade animal

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	5
GENERAL ABSTRACT	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	8
LISTA DE ABREVIACÕES	9
INTRODUÇÃO GERAL	13
CAPÍTULO 1- REVISÃO DE LITERATURA	15
1. EFEITO DOS GRUPOS GENÉTICOS NO DESEMPENHO E QUALIDADE DE CARNE EM BOVINOS DE CORTE	15
2. UTILIZAÇÃO DE LIPÍDEOS NA ALIMENTAÇÃO DE BOVINOS DE CORTE DOS GRUPOS GENÉTICOS NO DESEMPENHO E QUALIDADE DE CARNE EM BOVINOS DE CORTE.....	17
3. QUALIDADE DA CARNE BOVINA.....	19
3.1. Cor da carne.....	20
3.2. Maciez	22
3.3. Composição Química	23
3.4. Composição de Ácidos Graxos	25
4. EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO ORIUNDO DA DECOMPOSIÇÃO DAS EXCRETAS BOVINAS.....	28
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
CAPÍTULO 2- ARTIGO 1.....	42
1. INTRODUCTION.....	42
2. MATERIAL AND METHODS	44
2.1. Experiment site.....	44
2.2. Animals and feed management	44
2.3. Animal slaughtering, collection, and evaluation of meat quality.....	44
2.3.1. pH determination and color indices.....	45
2.3.2. Losses, shear force, sarcomere length	46
2.3.3. Proximate composition and lipid peroxidation	47
2.3.4. Meat fatty acid profile	47
2.4. Statistical analysis	48
3. RESULTS.....	48

3.1.	Physicochemical parameters of the <i>longissimus dorsi</i> muscle.....	48
3.2.	Color of meat and fat.....	49
3.3.	Fatty acid profile in the Longissimus dorsi muscle.....	49
5.	CONCLUSION	54
6.	REFERENCES.....	55
CAPÍTULO 3- ARTIGO 2.....		67
1.	INTRODUÇÃO.....	68
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	69
2.1.	Local do experimento, período experimental e características climáticas	69
2.2.	Animais e manejo alimentar.....	70
2.3.	Instalação do experimento.....	71
2.4.	Formação das parcelas experimentais	72
2.5.	Aplicação das excretas e coleta de dados	73
2.6.	Coleta do gás e leitura do fluxo de N ₂ O	74
2.7.	Análise estatística	75
3.	RESULTADOS	76
5.	CONCLUSÃO.....	80
6.	REFERÊNCIAS	81

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil tornou-se, nos últimos anos, o maior produtor mundial de carne bovina (USDA, 2023). Entretanto, o sistema de produção brasileiro caracteriza-se pela criação de animais a pasto, com aproximadamente 83,4% dos animais abatidos criados em sistemas baseados em pastagens (ABIEC, 2024). Essa característica pode resultar no abate de animais com idade avançada e com cobertura inadequada de gordura na carcaça, o que influencia diretamente a qualidade da carne. Buscar tecnologias de produção mais eficientes e com maior flexibilidade para se adequarem às exigências dos consumidores torna-se necessário, garantindo a competitividade dos produtos e a sustentabilidade socioambiental (Philippe et al., 2020).

Essas melhorias podem ser obtidas com a intensificação do sistema de produção, como a terminação de animais em confinamento, aliada ao uso de animais geneticamente superiores, proporcionando maior eficiência biológica em conjunto com a rápida deposição muscular e de gordura (Rodrigues et al., 2017). O cruzamento entre animais *Bos taurus* e *Bos indicus* tem sido frequentemente utilizado em sistemas de produção de bovinos de corte no Brasil, com o objetivo de se obter animais mais produtivos, favorecendo a redução na idade de abate, com maior peso, melhor acabamento e qualidade de carcaça (Barcellos et al., 2017).

A superioridade do genótipo cruzado (Angus × Nelore), em relação ao genótipo Nelore, foi observada por Dallantonia et al. (2021). Animais cruzados, tanto no sistema de pastejo quanto no de confinamento, apresentaram maior ganho médio diário (GMD) e peso vivo final (PVF), em comparação aos animais Nelore nos mesmos sistemas. Monteiro et al. (2022) observaram que os animais cruzados apresentaram melhor desempenho e características quantitativas de carcaça superiores aos animais Nelore: 633,8 vs. 515,5 kg para PVF; 361,6 vs. 285,1 kg para peso de carcaça quente (PCQ); e 1,40 vs. 0,89 kg/dia para GMD de carcaça em touros jovens dos genótipos cruzado e Nelore, respectivamente. Esses autores relataram ainda o potencial do genótipo em alterar o perfil de ácidos graxos, o genótipo Nelore produziu carne com melhor perfil lipídico, apresentando menor concentração de ácidos graxos saturados (AGS) e maior teor de ácido oleico e CLA, quando comparado ao grupo genético cruzado.

Ademais, o uso de óleos vegetais pode trazer algumas vantagens para o sistema de produção, como maior densidade energética em comparação aos carboidratos, melhoria das características físicas da dieta, aumento da palatabilidade e redução da emissão de metano entérico (Ibrahim et al., 2021). Muitas fontes de óleos vegetais foram estudadas ao longo do tempo, como soja, girassol, canola, palma e óleo de palma, entre outros. No entanto, pouca ênfase tem sido dada a fontes alternativas, como o óleo residual de fritura (ORF). A utilização desse resíduo apresenta, além das vantagens citadas, a possibilidade de reduzir os custos de

produção e proporcionar melhor destinação para seu aproveitamento.

Estima-se que, no Brasil, sejam produzidos cerca de 3 bilhões de litros de óleo vegetal por ano para alimentação, sendo que apenas aproximadamente 1% dessa quantidade é descartada corretamente após o uso, enquanto o restante é liberado na natureza sem nenhum tratamento adequado (Sousa et al., 2021). Além disso, cada litro de óleo despejado no esgoto tem capacidade de poluir até 25 mil litros de água (Araújo et al., 2022). Dessa forma, uma das hipóteses deste estudo é que o óleo residual de fritura possa ser uma fonte alternativa às tradicionais fontes de óleo vegetal utilizadas na alimentação de bovinos, sem causar prejuízos nutricionais aos animais. Além disso, poderia oferecer um uso sustentável capaz de reduzir os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado desse resíduo no meio ambiente.

Quando se trata dos impactos da atividade sobre os recursos naturais, o sistema de produção de carne bovina tem sido apontado como uma fonte significativa de emissão de gases de efeito estufa (GEE). Estima-se que a atividade pecuária seja responsável por aproximadamente 14% das emissões globais de GEE (IPCC, 2019). No Brasil, o setor agropecuário é responsável por cerca de 25% das emissões totais de GEE, sendo a produção de carne bovina a principal fonte, respondendo por 52,2% das emissões provenientes da atividade. Em relação à composição dos GEE gerados durante o processo produtivo da carne, o metano (CH_4) destaca-se como o principal gás emitido, representando 71,8% do total, seguido pelo óxido nitroso (N_2O), com 27,9%, e pelo dióxido de carbono (CO_2), com 0,3% (SEEG, 2023). Ressalta-se que o sistema de produção de carne bovina é considerado uma fonte significativa de emissões, principalmente em função do elevado potencial de aquecimento global associado aos principais gases emitidos. O metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) apresentam potenciais de aquecimento global 25 e 298 vezes superiores, respectivamente, ao do dióxido de carbono (CO_2) (IPCC, 2019).

As emissões de N_2O ocorrem naturalmente nos solos, mas também são geradas a partir de fontes antrópicas, como o uso de fertilizantes nitrogenados orgânicos/inorgânicos e os dejetos dos animais de criação (Grossi et al., 2019). A avaliação da emissão de N_2O proveniente da urina e do esterco de diferentes raças criadas em confinamento pode fornecer informações sobre a dinâmica de emissão desse gás e o impacto ambiental desse sistema. Essa avaliação pode gerar dados mais precisos para a realização de inventários de GEE e para a determinação de quais raças geram menor impacto ambiental em condições tropicais. Diante disso, faz-se importante quantificar e entender a emissão de GEE pela pecuária brasileira, para que seja possível implementar medidas de mitigação sem afetar a produtividade animal.

CAPÍTULO 1- REVISÃO DE LITERATURA

1. EFEITO DOS GRUPOS GENÉTICOS NO DESEMPENHO E QUALIDADE DE CARNE EM BOVINOS DE CORTE

A demanda por produtos de origem animal tem aumentado em função do crescimento contínuo da população mundial. Projeções indicam que o consumo global de carne bovina deverá crescer 0,75% até 2025 e dobrar até 2050, passando de 460 para 570 milhões de toneladas (OECD, 2022; World Consumption of Meat, 2023). Nesse cenário, o Brasil se destaca no mercado global, possuindo o maior rebanho comercial de bovinos e liderando as exportações de carne bovina, com uma participação de 27,7% no mercado mundial (ABIEC, 2023). Diante do aumento da concorrência com outras carnes e da possibilidade de consolidação do Brasil como líder no mercado global de carne bovina, torna-se essencial que a pecuária de corte ofereça produtos de qualidade de forma contínua ao longo do ano.

A maior parte do rebanho bovino brasileiro é composta por animais da raça Nelore, os quais apresentam características adaptativas ao clima tropical, além de, geralmente, possuírem bom estado sanitário e vigor físico. No entanto, diversos fatores, entre os quais se destaca o sistema de criação adotado pelos produtores, contribuem para que esses animais apresentem baixa produtividade, muitas vezes aquém de seu potencial genético (Pereira et al., 2015; Carvalho et al., 2017).

Como forma de contornar essa limitação, passou-se a adotar sistemas de criação intensivos, aliados a um manejo nutricional aprimorado e à utilização de genótipos mais produtivos. Segundo a Associação Brasileira de Angus (2017), animais da raça Angus, quando submetidos às mesmas condições alimentares de outras raças, atingem a puberdade mais cedo, o que resulta em um ciclo produtivo mais curto e em retorno mais rápido do investimento ao produtor.

A intensificação dos sistemas de produção de bovinos de corte no Brasil, bem como o uso do cruzamento industrial entre taurinos (*Bos taurus taurus*) e zebuínos (*Bos taurus indicus*), representa uma estratégia importante para produzir animais que reúnam as principais qualidades desses dois grupos genéticos. O produto desse cruzamento combina o alto potencial de produção das raças de clima temperado (*B. taurus*) com a rusticidade e adaptação das raças tropicais (*B. indicus*). No entanto, diferenças genéticas podem ser observadas na composição da carcaça, uma vez que algumas raças depositam gordura de forma mais precoce do que outras (Rodrigues et al., 2019).

As principais raças bovinas produzidas no Brasil foram introduzidas durante o período colonial e, com o tempo, tornaram-se naturalizadas. Atualmente, dos mais de 196 milhões de

bovinos criados no país, cerca de 80% dos animais destinados à pecuária de corte pertencem à raça Nelore (*Bos indicus*) ou são oriundos de seus cruzamentos (ACNB, 2021). Nesse sentido, conhecer o desempenho de animais Nelore e seus cruzamentos é fundamental para a melhoria da produtividade do sistema, visando maior eficiência biológica, rápido ganho de peso, deposição muscular e abate de animais mais jovens.

Com o objetivo de avaliar o ganho de peso médio em diferentes grupos genéticos de bovinos de corte, Silva (2021) analisou o desempenho de novilhos de três padrões raciais: Nelore, $\frac{1}{2}$ Nelore/Angus e $\frac{1}{2}$ Nelore (Nelore $\times$ zebuínos). Verificou-se que os animais $\frac{1}{2}$ Angus/Nelore apresentaram maior ganho de peso total em comparação com os demais grupos genéticos. Tal desempenho pode ser atribuído ao efeito da heterose, uma vez que esses animais resultam do cruzamento entre espécies distintas, conferindo-lhes maior vigor híbrido. O cruzamento entre raças zebuínas e taurinas busca combinar as qualidades de ambas, aproveitando os benefícios da heterose para maximizar o desempenho, promover maior uniformidade fenotípica e aprimorar as características da carcaça e da carne (Artmann, 2014).

Barp et al. (2022) avaliaram o ganho médio diário e o peso final de diferentes grupos genéticos de bovinos de corte (Angus, Braford e mestiços). Os resultados indicaram que a raça Angus apresentou o maior ganho médio diário, seguida pela Braford e, por último, os mestiços. Em relação ao peso final, não foram observadas diferenças entre os mestiços e os Angus, porém, os Braford apresentaram menor peso. De modo semelhante, Galliani et al. (2022) avaliaram progênies meio-sangue de touros das raças Aberdeen Angus e Braford. Os resultados mostraram que as progênies da raça Aberdeen Angus apresentaram melhor desempenho de crescimento, maior ganho de peso vivo e melhor rendimento de carcaça no abate, quando comparadas às da raça Braford, sob as mesmas condições de confinamento e dieta com alto teor de grãos.

Dallantonia et al. (2021) constataram que animais cruzados (Angus $\times$ Nelore), tanto em sistema de pastejo quanto em confinamento, apresentaram maior ganho médio diário (GMD) e peso vivo final (PVF) em relação aos animais Nelore nos mesmos sistemas. Além disso, verificou-se maior deposição de gordura durante a fase de terminação em confinamento.

Contrariando a esses resultados, Vieira (2015) avaliou nove grupos genéticos provenientes do acasalamento de vacas: Nelore, $\frac{1}{2}$ Angus + $\frac{1}{2}$ Nelore e $\frac{1}{2}$ Senepol + $\frac{1}{2}$ Nelore com touros das raças Canchim, Bonsmara e Brangus. E observaram que não houve diferença entre os cruzamentos para os dados de desempenho e características de carcaça. Assim como Moreira et al. (2015) que avaliaram o desempenho produtivo e econômico de três grupos genéticos de bovinos (Guzolandos ($\frac{1}{2}$ Guzerá $\times$ $\frac{1}{2}$ Holandês), Guzonel ($\frac{1}{2}$ Guzerá $\times$ 1 $\frac{1}{2}$ Nelore)

e Tricross ($\frac{1}{2}$ Simental x $\frac{1}{2}$ Guzonel)). Observaram que o ganho de peso médio diário não diferiu entre os grupos. Porém, o custo operacional total por arroba da recria do grupo Tricross foi superior aos dos grupos Guzonel e Guzolando. Nas condições de produção avaliadas, o grupo Tricross foi o mais eficiente economicamente.

Monteiro et al. (2022) observaram que animais cruzados (Angus × Nelore) apresentaram maior desempenho e melhores características de carcaça em comparação aos Nelore puros. Além disso, o genótipo apresentou potencial para influenciar o perfil de ácidos graxos da carne, sendo que os animais Nelore produziram carne com melhor composição de ácidos graxos do que os cruzados.

Dessa forma, o cruzamento entre animais de diferentes grupos genéticos constitui uma ferramenta promissora para o aprimoramento do rebanho e melhoria das características de carcaça e qualidade da carne. Contudo, a resposta ao cruzamento pode variar conforme os grupos genéticos utilizados e as condições específicas de manejo.

Além do cruzamento entre genótipos, abordagens nutricionais também têm sido adotadas com o objetivo de aumentar a deposição de gordura intramuscular, visando à melhoria da qualidade do produto final. A ótima expressão do potencial genético dos bovinos em termos de desempenho produtivo está diretamente relacionada à ingestão adequada de proteína e energia.

2. UTILIZAÇÃO DE LIPÍDEOS NA ALIMENTAÇÃO DE BOVINOS DE CORTE DOS GRUPOS GENÉTICOS NO DESEMPENHO E QUALIDADE DE CARNE EM BOVINOS DE CORTE

Os lipídios são biomoléculas insolúveis em água, porém solúveis em solventes orgânicos. Este grupo inclui o colesterol e as gorduras, como os triacilgliceróis e os fosfolipídios (Mattos et al., 2000). São compostos de estrutura orgânica, formados na sua maioria pela união de três ácidos graxos (AG) com um poliálcool chamado glicerol, originando uma estrutura conhecida como triglicerídeo, que representa aproximadamente 98% da gordura presente nos alimentos.

Devido à elevada proporção de ácidos graxos em sua composição, os lipídios são os principais elementos utilizados para aumentar o teor energético das dietas. Esses ácidos graxos fornecem cerca de 2,25 vezes mais energia do que os carboidratos, sendo, portanto, considerados ingredientes de alta densidade energética prontamente disponível para o metabolismo animal (Reddy et al., 1994). Na nutrição de ruminantes, os lipídios têm sido utilizados com o objetivo de elevar a densidade energética da dieta, melhorar a eficiência na

utilização da energia (pela redução do incremento calórico), aumentar a palatabilidade dos alimentos e reduzir a emissão de metano entérico (Ibrahim et al., 2021).

Além de proporcionar maior densidade energética e aumentar a eficiência dos animais em depositar gordura em seus produtos, os lipídios também melhoram a absorção de vitaminas lipossolúveis e fornecem ácidos graxos essenciais importantes para a formação das membranas celulares (Palmquist e Mattos, 2006). Outros benefícios da suplementação lipídica incluem a potencialização da utilização do nitrogênio pelas bactérias ruminais, a redução das perdas energéticas pela menor produção de metano e melhorias na eficiência metabólica dos processos anabólicos no tecido adiposo. Isso ocorre porque os ácidos graxos, por estarem prontamente disponíveis para deposição, reduzem o custo energético da síntese de gordura a partir de ácidos graxos de cadeia curta (Souza et al., 2009).

Campos et al. (2009) avaliaram o efeito da inclusão de óleo residual de fritura sobre o consumo de matéria seca (CMS), o ganho médio diário (GMD) e as características de carcaça de tourinhos Rednorte terminados em confinamento, submetidos a três dietas: sem lipídio adicional (SLA); com óleo de soja comercial (OS); e com óleo de fritura residual (OF), com 7% de EE na base da matéria seca. Observou-se que os animais alimentados com OF apresentaram menor CMS, o que, segundo os autores, pode estar relacionado a um efeito de regulação química. O GMD não foi afetado pela inclusão de óleo, com média geral de 1,7 kg/animal/dia para os tratamentos, e a eficiência alimentar foi superior nos tratamentos com adição de óleo, resultado atribuído, principalmente, ao efeito inibitório dos ácidos graxos insaturados sobre as bactérias gram-positivas, reduzindo as perdas gasosas.

A adição de lipídios à dieta promove aumento da produção de propionato e redução na emissão de metano, favorecendo o metabolismo energético. De acordo com Primavesi et al. (2004), a produção de metano pode representar perdas de até 10% da energia bruta ingerida pelos bovinos. Os lipídios exercem efeitos tóxicos sobre bactérias metanogênicas, bactérias fibrolíticas e protozoários, alterando o padrão de fermentação ruminal e promovendo maior produção de propionato, resultando em menor emissão de CH₄ (Beauchemin et al., 2022). O mesmo autor explica que o uso de lipídeos diminui a metanogênese através da utilização de H₂ livre na rota da biohidrogenação de ácidos graxos insaturados, sendo um mecanismo de autodefesa das bactérias que adicionam um hidrogênio em ácidos graxos insaturados, transformando em ácidos graxos saturados.

Antonelo et al. (2020) avaliaram os efeitos da inclusão de óleo de soja na alimentação de bovinos Nelore e cruzados (Angus × Nelore), em duas dietas (controle e 3,5% de óleo de soja). Constatou-se que o CMS não foi afetado pelos tratamentos, entretanto, os animais

alimentados com óleo de soja apresentaram maior GMD, sugerindo que o nível de 3,5% de óleo de soja aumentou a eficiência energética dos animais.

Fioretini et al. (2018), ao avaliarem o desempenho de touros Nelore alimentados com inclusão de óleo de soja na proporção de 60 g/kg de matéria seca na dieta, observaram redução no CMS (8,87 kg/dia) em comparação à dieta sem óleo (10,3 kg/dia). Os autores atribuíram essa redução ao elevado teor de extrato etéreo oriundo da suplementação lipídica e à alta proporção de ácidos graxos insaturados (AGI), que podem reduzir a digestibilidade pela ativação do fator quimiotático no centro de saciedade. O GMD não foi afetado (1,49 vs. 1,34 kg/dia), sendo a semelhança atribuída ao aumento de 15% na eficiência alimentar na dieta com óleo de soja.

Estudos anteriores relataram redução na digestibilidade da fibra quando o teor total de gordura excede 8–9% da dieta (NRC, 2001; McDonald et al., 2011; Benchaar et al., 2012). A suplementação de óleo tem um efeito de revestimento ao redor das partículas de ração e células bacterianas, tornando as partículas da dieta dificilmente acessíveis às bactérias e, portanto, reduzindo a degradação da ração no rúmen (Vargas et al., 2020). Segundo Ibrahim et al. (2021) a fermentação ruminal não é prejudicada quando a suplementação lipídica permanece abaixo de 4% da matéria seca. No entanto, a ingestão excessiva de ácidos graxos insaturados pode exceder a capacidade de biohidrogenação dos microrganismos ruminais, resultando em maior absorção intestinal desses ácidos (Rule e Beitz, 1986; Candyrine et al., 2019).

Diversas fontes de óleos vegetais têm sido estudadas ao longo do tempo, como soja, girassol, canola e palma, entre outras. Contudo, há pouca ênfase em fontes alternativas, como o óleo residual de fritura. Esse ingrediente, além de apresentar os benefícios citados, tem potencial para reduzir custos de produção e contribuir para a destinação ambientalmente adequada desse resíduo.

Nesse contexto, o óleo residual de fritura surge como uma alternativa viável para compor a dieta de animais em confinamento, contribuindo tanto para a substituição de ingredientes mais nobres, como milho e soja (reduzindo o custo da dieta), quanto para a mitigação do passivo ambiental causado pelo descarte inadequado desse resíduo.

3. QUALIDADE DA CARNE BOVINA

A carne, um dos alimentos mais consumidos pela população mundial, apresenta alto valor biológico, sendo uma importante fonte de proteína, vitaminas, minerais e ácidos graxos (Moreira et al., 2017). Para se obter carne de boa qualidade e potencializar a produção animal o produtor deve investir e modernizar seus sistemas de produção, tornando-os mais

intensificados e eficientes.

A qualidade de carne é dependente tanto de fatores intrínsecos aos animais, como raça, sexo e idade, assim como de fatores extrínsecos, como manejo, nutrição e relacionados ao ambiente pré e pós-abate. Esses fatores podem atuar de forma individual ou em conjunto, definindo as características físico-químicas e sensoriais da carne. As principais características que definem a qualidade da carne são: as características sensoriais (cor, odor, sabor, textura, maciez etc.), características nutricionais (perfil lipídico, composição centesimal etc.) (Descalzo e Sancho, 2008), que podem ser afetadas de acordo com a espécie animal, raça, idade, sexo, manejo alimentar, manejo *post-mortem* e condições de conservação (Osório et al., 2009).

Sistemas de produção intensiva, com o uso de tecnologias como a terminação de animais em confinamento aliado ao uso de animais geneticamente superiores e manejo adequado proporcionam maior eficiência biológica em conjunto com a rápida deposição muscular e de gordura (Rodrigues et al., 2017). A utilização de animais cruzados, geneticamente superiores, tem aumentado a cada ano, com o objetivo de abater animais jovens e que apresentem bom acabamento de carcaça atrelado a boa qualidade de carne (Lopes et al., 2012).

3.1. Cor da carne

A cor é a característica qualitativa mais importante para o consumidor no momento da compra, constituindo-se como o principal critério de seleção. Ela desperta o desejo de consumir ou rejeitar o produto, além de fornecer uma indicação sobre o grau de conservação do alimento. O consumidor costuma associar a cor escura da carne a animais mais velhos e à maior dureza da carne, demonstrando, portanto, preferência por carnes frescas com coloração vermelho-brilhante (Moreira et al., 2017).

O principal pigmento responsável pela coloração da carne é a mioglobina, uma proteína composta por um grupo prostético (grupo heme) ligado a uma molécula de proteína globular (globina). A primeira forma química da mioglobina é a deoximioglobina, que ocorre quando não há nenhum ligante presente na sexta posição de coordenação e o ferro do grupo heme encontra-se no estado ferroso. Nessa forma, a mioglobina apresenta coloração vermelho-púrpura, tipicamente associada a carnes embaladas a vácuo ou de músculos recém-cortados. A segunda forma é a oximioglobina, que se forma quando a mioglobina é exposta ao oxigênio, sendo caracterizada por uma coloração vermelho-cereja brilhante. Já a terceira forma é a metamioglobina, de coloração marrom, que resulta da oxidação dos derivados ferrosos da mioglobina (deoximioglobina e oximioglobina) para ferro férrico (Passetti et al., 2016). Dessa forma, a cor da carne indica a concentração de mioglobina e seu estado de oxigenação ou

oxidação na superfície muscular. Segundo Pearson (2013), altas concentrações de pigmentos nos músculos produzem colorações mais escuras, enquanto baixas concentrações resultam em cores mais claras.

Diversos fatores influenciam a cor da carne, entre os quais se destaca a falta de higiene no abate, que pode aumentar a probabilidade de crescimento bacteriano, favorecendo a formação de metamioglobina (Silva, 2008). Além disso, condições pré-abate, como o estresse dos animais, e pós-abate, como a temperatura de conservação das carcaças, influenciam diretamente o pH da carne. As condições de abate e a suscetibilidade dos animais ao estresse podem provocar alterações nos valores de pH, o que, por sua vez, afeta a coloração da carne (Bonagurio, 2001).

A percepção da cor varia significativamente entre os indivíduos. Por isso, além da análise sensorial, a cor da carne pode ser avaliada por métodos instrumentais, como espectrofotômetros ou colorímetros. O colorímetro é um instrumento capaz de captar tons dentro do espaço de cores do sistema CIE Lab (L^* , a^* , b^*), desenvolvido pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE) em 1976 (Gomes et al., 2021). Nesse sistema, o índice L^* representa a luminosidade, variando do branco ($+L$) ao preto ($-L$); a^* indica a oposição entre verde ($-a^*$) e vermelho ($+a^*$); e b^* representa a oposição entre azul ($-b^*$) e amarelo ($+b^*$) (Passetti et al., 2016).

Na carne, os parâmetros L^* e a^* estão mais associados à intensidade do vermelho, enquanto o parâmetro b^* pode variar conforme a presença de gordura intramuscular. Em cada uma dessas direções ($-$ ou $+$), quanto mais extremos forem os valores, maior será a saturação da cor (Gomes et al., 2021). A coloração da carne é geralmente considerada o principal atributo visual de escolha no momento da comercialização. Assim, a estabilidade da cor é um fator essencial, pois aumenta a vida útil do produto e favorece sua aceitação pelo consumidor (Resosemito et al., 2021).

Antonelo et al. (2020) avaliaram a inclusão de 3,5% de óleo de soja na dieta de bovinos Nelore e cruzados (Nelore $\times$ Angus) e não observaram efeito da dieta sobre os valores de L^* , a^* e b^* da cor da carne. No entanto, o genótipo Nelore apresentou maiores valores de a^* (38,4 vs. 36,6) e b^* (18,4 vs. 16,6) em comparação ao grupo cruzado. Esses resultados são consistentes com os trabalhos de Costa et al. (2020) e Gonzalez et al. (2014), que também não observaram influência das fontes lipídicas (linhaça, óleo de girassol ou óleo de soja) nas propriedades de cor da carne de bovinos Nelore e bovinos da raça Rubia Gallega, respectivamente. Resultados semelhantes foram relatados por Oliveira et al. (2012), que alimentaram novilhos Nelore com óleo de soja (SOB). Miguel et al. (2014) também observaram

valores mais elevados de L^* e a^* para a carne de animais Nelore em comparação à carne de cruzados (Angus $\times$ Nelore), corroborando parcialmente com os maiores valores de a^* e b^* reportados por Antonelo et al. (2020).

Monteiro et al. (2022), ao avaliarem a coloração da carne de touros jovens de dois grupos genéticos, identificaram diferença significativa: os animais Nelore apresentaram valores superiores de L^* (46,59), a^* (13,21) e b^* (6,60) em relação aos animais cruzados Nelore $\times$ Angus (L^* 42,89; a^* 12,88 e b^* 6,19), indicando uma carne de coloração mais clara nos animais Nelore. Os autores atribuíram os menores valores de L^* , a^* e b^* observados nos animais cruzados ao maior pH identificado nesse grupo genético. Segundo eles, os baixos valores de b^* podem estar associados à menor capacidade glicolítica do tecido muscular, o que foi evidenciado pelos valores mais baixos de pH (Mancini e Hunt, 2005).

3.2. Maciez

A maciez é considerada a característica organoléptica de maior influência na aceitação da carne pelos consumidores (Warner et al., 2022). De forma resumida, pode ser descrita como a percepção sensorial que o consumidor tem da carne, envolvendo aspectos como resistência à língua, à pressão do dente durante a mastigação, aderência e presença de resíduos pós-mastigatórios, ou seja, fatores altamente subjetivos (Moreira et al., 2017).

Diversos fatores podem influenciar a maciez da carne, dentre eles, os *ante mortem* (idade, genótipo, sexo, nutrição, exercício, estresse pré-abate, presença de tecido conjuntivo, espessura e comprimento do sarcômero) e *post mortem* (estimulação elétrica, rigor mortis, resfriamento da carcaça, pH, maturação, método e temperatura de cozimento (Warner et al., 2019). A avaliação da maciez pode ser realizada por meio de painel sensorial ou de forma instrumental, utilizando-se da força de cisalhamento e do índice de fragmentação miofibrilar. A força de cisalhamento é definida como a força necessária para romper as fibras da carne durante a mastigação.

Estudos demonstram que diferentes raças bovinas apresentam variações na maciez da carne. Ao avaliar diversos cruzamentos de bovinos machos, Rubensam et al. (1998) observaram que o aumento do grau de sangue zebuino dentro de cada grupo genético resultou em maior força de cisalhamento no primeiro dia *post mortem* e após o período de maturação. Tal resultado está relacionado à maior atividade da enzima calpastatina em bovinos com maior proporção de sangue *Bos indicus*, em comparação aos *Bos taurus*. Whipple et al. (1990) foram os primeiros a demonstrar que *Bos indicus* têm níveis mais elevados de calpastatina em relação aos animais *Bos taurus*, e esta diferença seria a principal razão para observações de menor maciez da carne

de animais zebuínos.

Rodrigues Filho et al. (2019) avaliaram a força de cisalhamento (FC) em novilhas oriundas do cruzamento rotativo alternado entre as raças Charolês (CH) e Nelore (NE), e obtiveram médias de (7,13 kgf vs. 6,53 kgf) para os grupos genéticos 43/64 Nelore 21/64 Charolês (4364NE) e 43/64 Charolês 21/64 Nelore (4364CH), respectivamente, caracterizando uma carne com qualidade levemente acima da média. Por sua vez, McGee et al. (2022) não observaram diferenças na maciez da carne de animais cruzados (Charolês x Limousin) terminados em pastejo ou em confinamento, mesmo com carcaças mais pesadas e maior espessura de gordura nos animais confinados.

A influência da nutrição na maciez da carne está associada principalmente com o grau de acabamento (espessura de gordura subcutânea) e com o teor de gordura intramuscular da carcaça. Animais terminados com dietas altamente energéticas tendem a apresentar carnes mais macias. O efeito da gordura de marmorização na maciez deve-se à redução da densidade da carne, à menor tensão entre as camadas de tecido conjuntivo, à maior "lubrificação" das proteínas pelos lipídios e ao estímulo da salivação, promovido pela gordura. Além disso, uma adequada espessura de gordura subcutânea minimiza o encurtamento das fibras musculares provocado pelo resfriamento da carcaça (Alves e Mancio, 2007).

Rodrigues Filho et al. (2014), ao avaliarem a inclusão de lipídios na dieta de tourinhos da raça Red Norte, observaram menores valores de força de cisalhamento nos tratamentos com óleo residual de fritura (3,0 kgf), seguidos pelo óleo de soja (3,9 kgf) e pela dieta controle (4,5 kgf). Os autores associaram os menores valores de FC com ao pH mais elevado e maior capacidade de retenção de água (CRA) nos tratamentos com inclusão de óleos, que possivelmente influenciaram positivamente na maciez e suculência da carne.

Por fim, Polizel Neto et al. (2022), ao estudarem diferentes níveis de extrato etéreo (3%, 4% e 5%) oriundos da inclusão de subprodutos de caroço de algodão e de soja na dieta total de bovinos Nelore em confinamento, concluíram que nem a fonte de lipídio nem o teor de extrato etéreo influenciaram a força de cisalhamento, com média geral de 5,71 kgf entre os tratamentos.

3.3. Composição Química

A carne é composta principalmente de água (65 a 80 %), proteína (16 a 22 %) e gordura (3 a 13 %), mas também contêm cinzas e pequenas quantidades de substâncias nitrogenadas não proteicas (aminoácidos livres, peptídeos, nucleotídeos, creatina), carboidratos, ácido lático, minerais e vitaminas (Ordonez et al., 2005). O conteúdo desses compostos na carne e sua composição influenciam importantes parâmetros de qualidade necessários à industrialização e

determinarão a qualidade final dos produtos.

Do ponto de vista quantitativo, a água é o constituinte mais importante e abundante do músculo e seu valor é constante entre músculos do mesmo animal e mesmo entre espécies. (Canhos; Dias, 1983). A água tem papel importante na formação dos fluidos extracelulares e vários constituintes químicos estão dissolvidos ou suspensos nela (Andrighetto et al., 2010). Além disso, a água presente no músculo exerce influência sobre o rendimento de carcaça (RC), uma vez que a perda de água, durante o resfriamento, eleva a perda de peso, além de interferir diretamente nas características sensoriais da carne (Dabés, 2001).

O segundo componente encontrado em maior quantidade é proteína bruta (PB). As proteínas são consideradas as principais responsáveis pelas características funcionais da carne. São elas que determinarão o rendimento, a qualidade, a estrutura e os atributos sensoriais do produto final (Felício, 1998). As proteínas do estroma são, geralmente, referidas como as proteínas do tecido conjuntivo e fazem parte da estrutura do músculo. A principal proteína deste grupo é o colágeno, o qual tem grande influência na qualidade da carne, podendo apresentar características indesejáveis (Olivo; Olivo, 2006).

De acordo com Rodrigues (2007), além da fração proteica do tecido muscular, a carne apresenta uma fração nitrogenada não proteica, (aproximadamente 1,5%), que é constituída de aminoácidos livres e nucleotídeos (DNA, RNA, ADP, ATP, entre outros). Do ponto de vista fisiológico, as proteínas atuam na formação de várias substâncias (enzimas, hormônios), regulação do metabolismo hídrico e tem efeito no processo de imunidade. A disponibilidade em aminoácidos essenciais das proteínas musculares, bem como suas características, confere a elas alto valor biológico, diferente das proteínas presentes no colágeno, que é rico em aminoácidos prolina e hidroxiprolina (Pardi et al., 1993).

A matéria mineral (MM), presente na carne, exerce importante papel fisiológico no organismo. Os minerais atuam como cofatores enzimáticos, promovendo a regulação muscular e nervosa e atuando, principalmente, na transformação do músculo em carne (Rodrigues, 2007).

Os lipídeos são importantes componentes das carnes, conferindo características desejáveis de suculência, sabor e aroma. Os principais constituintes das gorduras animais são os triglicerídeos, que contêm uma variedade de ácidos graxos saturados, monoinsaturados e poliinsaturados. A gordura animal é fonte importante de ácidos graxos essenciais, atuando, também, como transportador de vitaminas lipossolúveis (A, D, E e K) e como isolante térmico (Galdino, 2005). A deposição de gordura na carcaça bovina ocorre em fases distintas. Grandes taxas são, inicialmente, depositadas ao redor das vísceras e rins, seguidas pela deposição no tecido intermuscular, subcutâneo e, finalmente, a deposição no tecido intramuscular (Di Marco

et al., 2007).

A composição centesimal pode sofrer alterações por causa da nutrição, idade, sexo, composição genética animal, entre outros. Rodrigues Filho et al. (2014) avaliaram características da carne de tourinhos Red Norte e obtiveram valores semelhantes para as dietas avaliadas, com teor de proteína (22,1; 22,1 e 22,1), extrato etéreo (2,6; 2,6 e 2,6) e cinzas (1,3; 1,3 e 1,4) para dieta controle, suplementação com óleo de soja e óleo de fritura, respectivamente. Os autores concluíram que a suplementação com lipídeos na dieta não foi suficiente para aumentar a deposição muscular e não influenciou a composição centesimal e os teores de colesterol.

No estudo de Ítavo et al. (2021) a composição centesimal da carne não sofreu alterações quando novilhos e novilhas Nelore e Beefalo receberam diferentes níveis de lipídeos na dieta. Entretanto quando a fonte lipídica fornecida está na forma protegida, as chamadas gorduras protegidas, o teor de extrato etéreo no músculo aumenta (Lima et al., 2015), demonstrando a maior eficiência da gordura protegida em passar pelo rúmen para ser absorvida no intestino delgado e depositado no músculo (Lima et al., 2016).

3.4. Composição de Ácidos Graxos

A composição dos ácidos graxos da gordura intramuscular de bovinos tem recebido atenção devido às implicações na saúde humana e nas características de qualidade da carne. Os ácidos graxos são classificados pelo comprimento da cadeia de carbono, por número de duplas ligações na cadeia de carbono e pela configuração das duplas ligações. Essas características químicas, associadas à quantidade de gordura ingerida na alimentação, são determinantes do efeito da ingestão dos ácidos graxos na concentração plasmática de colesterol e sua distribuição nas lipoproteínas (Santos et al., 2013).

A composição dos ácidos graxos presentes na gordura intramuscular de bovinos tem despertado crescente interesse, tanto pelas implicações à saúde humana quanto pelas características relacionadas à qualidade da carne. Os ácidos graxos são classificados conforme o comprimento da cadeia de carbono, o número de duplas ligações e a configuração dessas ligações. Essas características químicas, associadas à quantidade de gordura ingerida na alimentação, são determinantes do efeito da ingestão dos ácidos graxos na concentração plasmática de colesterol e sua distribuição nas lipoproteínas (Santos et al., 2013).

Os lipídios são os constituintes da carne que apresentam maior variação, determinada por fatores intrínsecos (sexo, raça e idade) e extrínsecos (dieta e sistema de terminação) bem como a região a ser depositada (Diógenes et al., 2020). O nível nutricional das dietas é um dos

principais fatores que influenciam o teor de gordura intramuscular. Contudo, do ponto de vista nutricional, não apenas a quantidade de gordura é relevante, mas também a sua composição em ácidos graxos (Corazzin et al., 2019).

A qualidade nutricional dos lipídios presentes nas carcaças de ruminantes é avaliada com base na composição de ácidos graxos, por meio de índices que relacionam o conteúdo de ácidos graxos saturados (AGS), monoinsaturados (AGM) e poli-insaturados (AGPI), das séries n-6 e n-3. Os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) possuem entre 1 e 6 átomos de carbono saturados; os de cadeia média (AGCM) apresentam entre 7 e 12 carbonos saturados; já os ácidos graxos de cadeia longa (AGCL) contêm 13 ou mais carbonos, podendo ser saturados ou insaturados (com uma ou mais ligações duplas). As razões AGPI:AGS e n-6:n-3 são amplamente utilizadas para analisar o valor nutricional de óleos e gorduras, bem como seu potencial colesterolêmico. Além disso, os índices de aterogenicidade (IA) e trombogenicidade (IT) são empregados como parâmetros para avaliação e comparação da qualidade de diferentes alimentos e dietas (Parente et al., 2020).

Está bem estabelecido que alguns ácidos graxos saturados (AGS) elevam os níveis de colesterol da lipoproteína de baixa densidade (LDL), considerado um importante fator de risco para doenças cardiovasculares (Briggs et al., 2017). Os teores de AGS na carne bovina são inferiores a 50%; desses, aproximadamente 20% correspondem ao ácido esteárico (18:0), que não exerce efeito significativo sobre os níveis de colesterol sanguíneo. De acordo com Farfan (1996), o efeito hipercolesterolêmico dos AGS está relacionado aos ácidos láurico (12:0), mirístico (14:0) e palmítico (16:0) (Ladeira; Oliveira, 2007). Ressalta-se que os ácidos graxos saturados atuam de forma individual e afetam a fisiologia e a saúde humana de diferentes maneiras, sendo esses efeitos também influenciados por outros componentes da dieta, como carboidratos e alimentos processados (Astrup et al., 2019).

O efeito hipercolesterolêmico dos ácidos láurico, mirístico e palmítico deve-se à redução da ação dos receptores hepáticos de LDL, o que resulta no aumento da concentração de LDL no plasma sanguíneo. Assim, menores teores desses ácidos tornariam a carne mais saudável para o consumo humano (Arrigoni et al., 2007). Segundo French et al. (2003), o ácido graxo mais prejudicial é o ácido mirístico. Esses autores também destacam que o ácido palmítico possui menor efeito hipercolesterolêmico do que o ácido mirístico, e que o ácido esteárico, responsável por 43% do total de AGS, não influencia os níveis de colesterol no sangue.

Os ácidos graxos insaturados são classificados conforme o número de ligações duplas em monoinsaturados ou poli-insaturados, sendo encontrados predominantemente na

configuração *cis*. A localização da primeira ligação dupla a partir do grupo metila define a série do ácido graxo, indicada pela letra ω (ômega), sendo as principais as séries ω -3, ω -6 e ω -9 (Santos et al., 2013). Entre todos os ácidos graxos, o ácido oleico (18:1) é o mais abundante na carne bovina, representando cerca de 88% dos ácidos graxos monoinsaturados e 40% do total de ácidos graxos. Na forma *cis*, o ácido oleico exerce efeito hipocolesterolêmico, sem reduzir os níveis de HDL, contribuindo, assim, para a prevenção de doenças cardíacas, ao reduzir a LDL (Melton et al., 1982).

Os ácidos graxos com mais de uma ligação dupla são divididos em ômega-6 e ômega-3, considerados essenciais, uma vez que o organismo humano não é capaz de sintetizá-los, sendo necessária sua obtenção por meio da dieta. Atualmente, é amplamente aceito que o aumento do consumo de ácidos graxos ω -3 pode reduzir os riscos de doenças cardíacas e aterosclerose (Bressan et al., 2010).

Além dos ácidos graxos mencionados, destaca-se o ácido linoleico conjugado (CLA), encontrado em produtos de ruminantes, que tem demonstrado efeitos benéficos à saúde, como ação hipocolesterolêmica, redução da gordura corporal, propriedades anticancerígenas e prevenção do diabetes (Lobato; Freitas, 2005). A presença de CLA nos produtos de ruminantes ocorre em razão da bio-hidrogenação incompleta dos AGPI no rúmen, sendo este um intermediário do processo. Entretanto, o CLA também pode ser produzido pela ação da enzima Delta-9-dessaturase presente no tecido adiposo.

A inclusão de fontes óleo à dieta dos bovinos pode aumentar o conteúdo de CLA da carne de ruminantes, através do fornecimento aos animais de fontes dietéticas adicionais ricas em C18:2n-6 e C18:3n-3 para uso como substratos para biohidrogenação ruminal. O óleo de soja e o óleo de linhaça são as duas principais fontes disponíveis para a alimentação de ruminantes, os quais são ricos em ácidos C18:2n-6 e C18:3n-3 (Oliveira et al. 2012, Castro et al., 2016).

Ladeira et al. (2014) demonstraram que a inclusão de soja moída na dieta resultou em maiores concentrações de ácido linoleico (C18:2), ácido α -linolênico (C18:3) e ácidos graxos poli-insaturados totais no rúmen. Por outro lado, a dieta com gordura protegida promoveu maiores concentrações de ácidos palmítico (C16:0), esteárico (C18:0) e oleico (C18:1). Os autores ainda relataram que as fontes lipídicas utilizadas não alteraram os teores de ácido mirístico ou palmítico no músculo *Longissimus dorsi*.

Carvalho et al. (2017) avaliaram a composição de ácidos graxos da carne e da gordura subcutânea de novilhos Nelore suplementados com óleo de palma, óleo de linhaça, gordura protegida (óleo de soja), soja integral e uma dieta controle (sem suplementação). Constatou-se

que o óleo de palma aumentou as concentrações de ácido láurico e ácido mirístico no músculo e na gordura subcutânea. Além disso, os animais suplementados com óleo de linhaça apresentaram níveis significativamente mais elevados de CLA em comparação ao grupo controle. Os autores chegaram à conclusão de que a inclusão de óleo de palma e de ácidos graxos protegidos derivados do óleo de soja não é recomendada como método para melhorar o perfil lipídico da carne e na gordura subcutânea de bovinos Nelore.

Ítavo et al. (2021) avaliaram o fornecimento de quatro níveis de lipídios na dieta de novilhos e novilhas das raças Nelore e Beefalo, observando interação significativa ($P < 0,05$) entre nível de lipídios e sexo para os ácidos graxos mirístico (C14:0), miristoleico (C14:1), palmitoleico (C16:1 ω 7), linoleico (C18:2 ω 6), linolênico (C18:3 ω 3) e poli-insaturados (AGPI) na carne do músculo *Longissimus thoracis*. Verificou-se que o aumento dos níveis de lipídios na dieta promoveu elevação linear das concentrações de C18:2 ω 6, C18:3 ω 3 e AGPI. As novilhas apresentaram maiores concentrações dos ácidos linoleico e palmitoleico, considerados benéficos à saúde humana, indicando que a carne das fêmeas possui perfil de ácidos graxos mais desejável em comparação à dos machos.

4. EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO ORIUNDO DA DECOMPOSIÇÃO DAS EXCRETAS BOVINAS

O N_2O é um gás de efeito estufa produzido naturalmente nos solos pelos processos de nitrificação e desnitrificação, embora esse gás não seja o principal produto desses processos. A nitrificação é um processo aeróbico, em que o amônio (NH_4^+) é oxidado em nitrato (NO_3^-) e durante este processo, há formação do N_2O como subproduto. Já a desnitrificação é um processo anaeróbico em que o NO_3^- é reduzido a N_2 com a formação de N_2O como um intermediário obrigatório. Logo, a forma de nitrogênio (N) predominante nos solos irá influenciar essas reações, ou seja, variações nas concentrações de nitrato (NO_3^-) ou amônio (NH_4^+) que podem levar a variações nas emissões de N_2O (Dobbie et al., 1999). Sendo assim, quanto mais favoráveis forem as condições do solo para que ocorra desnitrificação, maior será a emissão de N_2O (Franzluebbers, 2020).

A taxa de emissão de N_2O é normalmente regulada por fatores climáticos, propriedades físico-químicas do solo e características microbianas, sendo as que principais fontes de emissões do N_2O no solo incluem o uso de fertilizantes nitrogenados (minerais e orgânicos), resíduos de lavouras e a deposição de fezes e urina por bovinos em pastejo (IPCC, 2006).

Embora a fertilização nitrogenada tenha um papel importante na produção de massa verde para bovinos a pasto, o uso do N em lavouras resulta num aumento das emissões de N_2O

(Signor et al., 2013). Isso ocorre em razão da baixa eficiência de uso de N e, em alguns casos, uso inadequado do fertilizante, que muitas vezes ocorrem devido à dose, momento de aplicação, fonte ou local inadequados (Reets Jr., 2014).

Urina e fezes frescas são ricas em energia e nitrogênio (N) e carbono (C) quimicamente reduzidos, o que fornece substrato para o consórcio com bactérias autotróficas e heterotróficas. Como consequência, ocorrem mudanças temporárias de pH, pressão parcial de O_2 e NH_3 , e nas concentrações de NH_4^+ , NO_2^- , e NO_3^- nas fezes e urina dos animais, que podem conduzir à emissão de N_2O (Oenema et al., 2005).

Existe uma tendência ao aumento das concentrações de N_2O nas próximas décadas por causa da intensificação da pecuária brasileira. Esta intensificação acarreta aumento no volume de urina e fezes excretados e na utilização de fertilizantes nitrogenados, o que contribui significativamente para aumentar a emissão de N_2O (Smith et al., 2007).

Mundialmente, sugere-se um fator médio de emissão para esterco em pastagem, na qual a variação pode ser grande, ocorrendo desde 0,03 a 0,75% e um fator de emissão para urina que podem variar de menos de 0,1 a 3,8% para as mesmas condições (Oenema et al 1997). Para os inventários nacionais, o fator de emissão é de 2% segundo as diretrizes impostas pelo Painel Intergovernamental Sobre Mudanças do clima (IPCC). O fator de emissão (FE) do N_2O para uma dada fonte de N é o percentual de N aplicado que é emitido como N_2O e, portanto, permite a comparação entre estudos realizados em diferentes condições ambientais e agronômicas (Sordi et al., 2014). Cardoso et al. (2019), avaliaram a emissão de N_2O de bovinos em pastagem de *Brachiaria brizantha* após a aplicação dos tratamentos: fezes, urina, e fezes + urina e encontraram fatores de emissão de N_2O de 0,36%, 1,02% e 0,84% durante a estação chuvosa e 0,32%, 0,47% e 0,34% para a estação seca do ano.

Corroborando com os autores citados acima. Maciel et al. (2021), avaliaram a emissão de N_2O de excretas de bovinos de corte confinados em condições tropicais e concluíram que os fatores de emissão de N_2O para o N na urina foi significativamente maior do que para o N nas fezes (2,83 vs. 0,32%, respectivamente), e a combinação de fezes + urina resultou em um FE para o N nas excretas de 1,83%, que é 8,5% menor que o FE padrão do IPCC.

É possível observar que as emissões de N_2O em todos os estudos citados diferiram de acordo com a estação do ano e tipo de excreção. Outro fator observado foi que as emissões de N_2O foram inferiores ao FE padrão do IPCC independente dos tratamentos (fezes, urina e fezes + urina) o que sugere que o FE padrão não representam bem as emissões de N_2O de excretas de bovinos sob as diferentes condições supracitadas. Alguns pesquisadores sugerem que os fatores de emissão sejam divididos entre emissões de N_2O pelas fezes e urina separadamente,

em decorrência das diferenças entre os FE cada uma das fontes (Van der Weerden et al., 2011; Simon et al., 2018).

Em uma revisão de literatura envolvendo 418 estudos, Cai e Akiyama (2016), encontraram um FE de N_2O de 0,76% para urina bovina e 0,27% para fezes de bovinos. Essas diferenças na produção de N_2O são causadas pelo tipo de N na excreta (principalmente ureia na urina e nitrogênio orgânicos nas fezes), umidade do solo e temperatura (Van der Weerden et al., 2011; Lessa et al., 2014; Mazzetto et al., 2014; Cardoso et al., 2019).

Sordi et al. (2014), estimaram que diferenças nas emissões entre as excretas ocorrem, pois, a ureia presente na urina está mais propícia a ser absorvida pelo solo do que as formas orgânicas do N das fezes. Outro fato é que a quantidade de N excretada na urina é aproximadamente 65% maior do que nas fezes (Rodrigues et al., 2008). Em contraste com a urina, há significativamente menos N mineral nas fezes e consequentemente, a transformação do N do solo é menor. De acordo com Van der Weerden et al. (2011), a interação entre os microrganismos do solo nas fezes pode ser restrita devido ao alto teor de matéria seca contida nas fezes. Isso também pode reduzir o potencial do N das fezes de se infiltrar no solo, resultando em menos N disponível para ser emitido como N_2O .

De acordo com Bastos (2018), as emissões de N_2O foram maiores durante o período chuvoso do ano. A umidade talvez seja o fator de maior influência na emissão do N_2O . O excesso de umidade favorece a produção de N_2O devido ao preenchimento dos espaços porosos do solo, favorecendo o processo de desnitrificação. A porosidade preenchida por água acima de 60% favorece a formação de micro-sítios de anaerobiose devido à dificuldade de difusão de O_2 , e quando esse preenchimento dos poros está entre 35 e 60% favorecem o processo de nitrificação.

Para que se tenham dados mais concretos é preciso padronizar a metodologia de avaliação quanto aos tratamentos utilizados que melhor represente a emissão de N_2O de excretas bovinas, uma vez que os valores de FE de N_2O são diferentes para fezes e urina separados quando comparado com o tratamento de fezes + urina. Os resultados apontaram valores FE abaixo do padrão de 2% determinado pelo IPCC, porém é preciso aumentar a quantidade de mensuração deste gás para que se possa fazer um levantamento que inclua todas as regiões e diferentes sistemas de produção caracterizando a emissão de N_2O na pecuária a nível nacional. A partir da consolidação desse tipo de informação, medidas mais concretas para o controle de emissões poderão ser implementadas respeitando as características de cada região.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABA – Associação Brasileira de Angus. 2017. Disponível em: <https://angus.org.br/angus/vantagens-da-raca/porque-criar/>. Acesso em 05 de dezembro de 2023.
- Andrighetto, C., Jorge, A. M., Nasser, M. D., Maestá, S. A., Rodrigues, É., & Francisco, C. L. (2010). Características químicas e sensoriais da carne bovina. *Pubvet*, 4(11).
- Alves, D. D., de Tonissi, R. H., de Goes, B., & Mancio, A. B. (2005). Maciez da carne bovina. *Ciência animal brasileira*, 6(3), 135-149. : <https://www.researchgate.net/publication/43530140>.
- Alves, D. D., Paulino, M. F., Backes, A. A., Valadares Filho, S. D. C., & Rennó, L. N. (2004). Características de carcaça de bovinos zebu e cruzados holandês-zebu (F1) nas fases de recria e terminação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33, 1274-1284. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982004000500020>.
- Andrade, E. N. D., Neto, A. P., Roça, R. D. O., Faria, M. D., Resende, F. D., Siqueira, G. R., & Pinheiro, R. S. B. (2014). Beef quality of young Angus× Nellore cattle supplemented with rumen-protected lipids during rearing and fattening periods. *Meat Science*, 98(4), 591-598. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.05.028>.
- Antonelo, D. S., Gómez, J. F. M., Goulart, R. S., Beline, M., Consolo, N. R. B., Corte, R. R. S., ... & Silva, S. D. L. (2020). Performance, carcass traits, meat quality and composition of non-castrated Nellore and crossbred male cattle fed soybean oil. *Livestock Science*, 236, 104059. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104059>.
- Araújo, A. R., Guimaraes, B., da Silva Barbosa, C., de Souza Costa, C. E. A., & de Sousa, L. A. S. (2022). Logística reversa: óleo residual de fritura, uma proposta para os restaurantes da praça da alimentação do shopping Boulevard, Belém-Pará. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(2), 1517-1531. <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n2-006>
- Aroeira, C. N., de Almeida Torres Filho, R., Fontes, P. R., Ramos, A. D. L. S., de Miranda Gomide, L. A., Ladeira, M. M., & Ramos, E. M. (2017). Effect of freezing prior to aging on

myoglobin redox forms and CIE color of beef from Nellore and Aberdeen Angus cattle. *Meat science*, 125, 16-21. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.11.010>.

Barcellos, V. C., Mottin, C., Passetti, R. A. C., Guerrero, A., Eiras, C. E., Prohmann, P. E. F., Vital, A. C. P., Prado, I. N. (2017). Carcass characteristics and sensorial evaluation of meat from Nellore steers and crossbred Angus vs. Nellore bulls. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 39, p. 437-448. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v39i4.36692>.

Bastos, D.F. 2018. Emissão de óxido nitroso da urina e fezes de bovinos e ovinos em sistemas pecuários extensivos. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Brasil, M. C. T. I. 2016. Terceira comunicação nacional do Brasil à convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima. Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas. MCT, Brasília, DF, Brasil, p. 79.

Barducci, R. S., Franzói, M. C. S., Sarti, L. M. N., Millen, D. D., Putarov, T. C., Perdigão, A., ... & Arrigoni, M. D. B. (2016). Perfil de ácidos graxos e características da carne de bovinos Nelore confinados com diferentes fontes lipídicas protegidas. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 68, 233-242. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8039>.

Boles, J. A., & Pegg, R. (2010). Meat color. Montana State University and Saskatchewan Food Product Innovation, Program University of Saskatchewan.

BRAZILBEEFQUALITY, 2020. Maciez e maturação. Disponível em: <<https://www.brazilbeefquality.com/2020>. Acesso em: 15/12/2023.

Bressan, M. C., Rossato, L. V., Rodrigues, E. C., Alves, S. P., Bessa, R. J. B., Ramos, E. M., & Gama, L. T. (2011). Genotype × environment interactions for fatty acid profiles in *Bos indicus* and *Bos taurus* finished on pasture or grain. *Journal of animal science*, 89(1), 221-232. [10.2527/jas.2009-2672](https://doi.org/10.2527/jas.2009-2672).

Briggs, M. A., Petersen, K. S., & Kris-Etherton, P. M. (2017, June). Saturated fatty acids and cardiovascular disease: replacements for saturated fat to reduce cardiovascular risk. In *Healthcare* (Vol. 5, No. 2, p. 29). MDPI. [10.3390/healthcare5020029](https://doi.org/10.3390/healthcare5020029).

Campos, F.B. (2009). Óleo de fritura residual na alimentação de tourinhos RedNorte terminados em confinamento. 34p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Carvalho, I.P.C., Fiorentini, G., Lage, J.F., Messana, J.D., Canesin, R.C., Rossi, L.G., Reis, R.A., Berchielli, T.T. (2017). Fatty acid profile, carcass traits and meat quality of Nellore steers following supplementation with various lipid sources. *Anim. Prod. Sci.*, 57(6), A-I.

<https://doi.org/10.1071/AN15149>.

Cardoso, A. da, S. C. Oliveira, E. R. Januszkiewicz, L. F. Brito, E. Morgado, R. A. Reis, A. C. Ruggieri. 2019. Seasonal effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions for beef cattle excreta and urea fertilizer applied to a tropical pasture. *Soil and Tillage Research*, 194:104341. doi.org/10.1016/j.still.2019.104341.

Cardoso, A. S., A. Berndt, A. Leytem, B. J. R. Alves, I. das de Carvalho, L. H. de Barros Soares, S. Urquiaga, R. M. Boddey. 2016. Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. *Agricultural Systems* 143:86–96. doi.org/10.1016/j.agsy.2015.12.007

Carvalho, G. M., L. F. Brito, L. M. Coelho, A. S. Cardoso, J. D. Messana, P. H. D. Colovate, M. J. G. Ganga, M. C. P. Cruz, E. B. Malheiros, T.T. Berchielli. 2022. Ammonia, nitrous oxide and methane emissions from excreta of cattle receiving rumen undegradable protein. *Agronomy Journal*, v. 114, p. 1-8, doi.org/10.1002/agj2.21053

Congio, G. F. S., M. B. Chiavegato, C. D. A. Batalha, P. P. A. Oliveira, T. M. R. Maxwell, P. Gregorini, and S. C. Da Silva. 2019. Strategic grazing management and nitrous oxide fluxes from pasture soils in tropical dairy systems. *Sci. Total Environ.* 676:493–500. doi.org/10.1016/j.scitotenv.04.186

T. Castro, A. Cabezas, J. De la Fuente, B. Isabel, T. Manso, V. Jimeno. (2016). Animal performance and meat characteristics in steers reared in intensive conditions fed with different vegetable oils. *Animal*, 10, (3): 520-530. <https://doi.org/10.1017/S1751731115002554>.

Costa, P. M., Barbosa, F. A., Alvarenga, R. C., Guimarães, S. T., Lampeão, Â. A., Winkelströter, L. K., & Maciel, I. C. D. F. (2017). Performance of crossbred steers post-weaned in an integrated crop-livestock system and finished in a feedlot. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52, 355-365. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000500009> .

Dallantonia, E. E., da Rocha Fernandes, M. H. M., da Silva Cardoso, A., Leite, R. G., Ferrari, A., Ongaratto, F., ... & Reis, R. A. (2021). Performance and greenhouse gas emission of Nellore and F1 Angus × Nellore yearling bulls in tropical production systems during backgrounding and finishing. *Livestock Science*, 251, 104646. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104646>.

Di Marco, O. N. (1994). *Crecimiento y respuesta animal*. Buenos Aires: Asociación Argentina de Producción Animal. 129p.

Davidson, E. A., and D. Kanter. 2014. Inventories and scenarios of nitrous oxide emissions. *Environ. Res. Lett.* 9:105012. doi:[10.1088/1748-9326/9/10/105012](https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/10/105012)

Duckett, S. K., & Gillis, M. H. (2010). Effects of oil source and fish oil addition on ruminal biohydrogenation of fatty acids and conjugated linoleic acid formation in beef steers fed finishing diets. *Journal of animal science*, 88(8), 2684-2691.

de Klein, C. A., and R. J. Eckard. 2008. Targeted technologies for nitrous oxide abatement from Animal Agriculture. *Aust. J. Exp. Agric.* 48:14. doi.org/10.1071/EA07217

Franzluebbers, A.J. 2020. Cattle grazing effects on the environment: Greenhouse gas emissions and carbon footprint. In: Rouquette Jr. M. and Aiken G. editors. *Management Strategies for sustainable cattle production in southern pastures*. Academic Press, San Diego, CA. p. 11-34.

Fiorentini, G., Berchielli, T. T., Santana, M. C. A., Dian, P. H. M., Reis, R. A., Sampaio, A. A. M., & Biehl, M. V. (2012). Qualitative characteristics of meat from confined crossbred heifers fed with lipid sources. *Scientia Agricola*, 69, 336-344. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162012000500008> .

Fiorentini, G., Lage J.F., Carvalho, I.P., Messana, J.D., Canesin, R.C., Reis, R.A., Berchielli, T.T.(2015) Lipid Sources with Different Fatty Acid Profile Alters the Fatty Acid Profile and

Quality of Beef from Confined Nellore Steers. *Asian-Australas J Anim Sci.* Jul;28(7):976-86. doi: 10.5713/ajas.14.0893. PMID: 26104402; PMCID: PMC4478507.

Fiorentini, G., Messana, J. D., Neto, A. J., Sgobi, E. G., Castagnino, P. S., & Berchielli, T. T. (2018). Performance and meat quality of Nellore bulls fed crude glycerin combined with soybean oil. *Animal Feed Science and Technology*, 241, 45-54. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.04.013>.

Horton, G. M. J., Wohlt, J. E., Palatini, D. D., & Baldwin, J. A. (1992). Rumen-protected lipid for lactating ewes and their nursing lambs. *Small Ruminant Research*, 9(1), 27-36.

Hoben, J. P., R. J. Gehl, N. Millar, P. R. Grace, and G. P. Robertson. 2010. Nonlinear Nitrous Oxide (N₂O) response to nitrogen fertilizer in on-farm corn crops of the US midwest. *Glob. Change Biol. Biol.* 17:1140–1152. doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02349.x

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022) Produção da pecuária municipal. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2022>. Acesso em:10/10/2022

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories. Cambridge, UK, University Press. 297p.

Mazzetto, A. M., A. S. Barneze, B. J. Feigl, J. W. Van Groenigen, O. Oenema, and C. C. Cerri. 2014. Temperature and moisture affect methane and nitrous oxide emission from bovine manure patches in tropical conditions. *Soil Biol. Biochem.* 76:242–248. doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.05.026

Ibrahim, N. A., Alimon, A. R., Yaakub, H., Samsudin, A. A., Candyne, S. C. L., Wan Mohamed, W. N., ... & Mookiah, S. (2021). Effects of vegetable oil supplementation on rumen fermentation and microbial population in ruminant: A review. *Tropical animal health and production*, 53, 1-11. [10.1007/s11250-021-02863-4](https://doi.org/10.1007/s11250-021-02863-4).

Ítavo, L. C. V., Ítavo, C. C. B. F., Dias, A. M., de Nadai Bonin Gomes, M., da Silva, A. G., Leal, E. S., ... & Dos Santos, G. T. (2021). Lipid rich diet from sunflower seeds can alter the proportion of fatty acids on hybrid Beefalo× Nellore cattle. *Tropical Animal Health and*

Production, 53, 1-8. [10.1007/s11250-021-02615-4](https://doi.org/10.1007/s11250-021-02615-4).

Jenkins, T. C., & Bridges Jr, W. C. (2007). Protection of fatty acids against ruminal biohydrogenation in cattle. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 109(8), 778-789.

Jenkins, T. C., Wallace, R. J., Moate, P. J., & Mosley, E. E. (2008). Board-invited review: Recent advances in biohydrogenation of unsaturated fatty acids within the rumen microbial ecosystem. *Journal of animal science*, 86(2), 397-412.

Kazala, E. C., Lozeman, F. J., Mir, P. S., Laroche, A., Bailey, D. R., & Weselake, R. J. (1999). Relationship of fatty acid composition to intramuscular fat content in beef from crossbred Wagyu cattle. *Journal of Animal Science*, 77(7), 1717-1725.

Ladeira, M. M., Santarosa, L. C., Chizzotti, M. L., Ramos, E. M., Neto, O. M., Oliveira, D. M., ... & Ribeiro, J. S. (2014). Fatty acid profile, color and lipid oxidation of meat from young bulls fed ground soybean or rumen protected fat with or without monensin. *Meat science*, 96(1), 597-605.

Lee, M. S., Apple, J. K., Yancey, J. W. S., Sawyer, J. T., & Johnson, Z. B. (2008). Influence of wet-aging on bloom development in the longissimus thoracis. *Meat science*, 80(3), 703-707.

Lombardi, C. T., de Alencar Fontes, C. A., Rocha, T. C., Processi, E. F., Bendia, L. C. R., Silveira Filho, C. C., ... & Bezerra, L. R. (2016). Growth performance, body composition, carcass traits and meat quality of young Nellore bulls fed freshly cut or ensiled sugar cane. *Animal Feed Science and Technology*, 219, 102-110. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.06.008>.

Malau-Aduli, A. E. O., Siebert, B., Bottema, C. D. K. A., & Pitchford, W. (1997). A comparison of the fatty acid composition of triacylglycerols in adipose tissue from Limousin and Jersey cattle. *Aust. J. Agric. Res.* 48 (5), 715–722. <https://doi.org/10.1071/A96083>.

Mattos, E. C., Ferraz, J. B. S., Eler, J. P., Figueiredo, L. G. G., & Cunha, G. G. D. (2000). TOPGEN: um software para definir acasalamentos dirigidos em bovinos de corte. *Anais*.

Moloney, A. P., Kennedy, C., Noci, F., Monahan, F. J., & Kerry, J. P. (2012). Lipid and colour stability of *M. longissimus* muscle from lambs fed camelina or linseed as oil or seeds. *Meat Science*, 92(1), 1-7.

Monteiro, P. A. M., Maciel, I. C. F., Alvarenga, R. C., Oliveira, A. L., Barbosa, F. A., Guimarães, S. T., ... & Lopes, L. S. (2022). Carcass traits, fatty acid profile of beef, and beef quality of Nellore and Angus x Nellore crossbred young bulls finished in a feedlot. *Livestock Science*, 256, 104829. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.104829>.

Moreira, S. M., Mendonça, F. S., Costa, P. T., De Conto, L., Corrêa, G. F., Schwengber, E. B., ... & Silveira, I. D. B. (2017). Carne bovina: Percepções do consumidor frente ao bem-estar animal—Revisão de literatura. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(5), 1-17.

National Research Council - NRC., 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7.rev.ed. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.

Oliveira, E. A., Sampaio, A. A. M., Henrique, W., Pivaro, T. M., Rosa, B. L., Fernandes, A. R. M., & Andrade, A. T. (2012). Quality traits and lipid composition of meat from Nellore young bulls fed with different oils either protected or unprotected from rumen degradation. *Meat Science*, 90(1), 28-35.

Oliveira, E. A., Sampaio, A. A. M., Henrique, W., Pivaro, T. M., Rosa, B. L., Fernandes, A. R. M., & Andrade, A. T. (2012). Quality traits and lipid composition of meat from Nellore young bulls fed with different oils either protected or unprotected from rumen degradation. *Meat Science*, 90(1), 28-35. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.05.024>.

Oliveira, I. M. D., Paulino, P. V. R., Marcondes, M. I., Valadares Filho, S. D. C., Cavali, J., Prados, L. F., & Detmann, E. (2011). Beef quality traits of Nellore, F1 Simmental× Nellore and F1 Angus× Nellore steers fed at the maintenance level or ad libitum with two concentrate levels in the diet. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40, 2894-2902. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011001200037>.

Ordóñez, J. A.; Rodríguez, M. I. C.; Álvarez, L. F.; Sanz, M. L. G.; Minguillón, G. D. G. F.;

Perales, L. H.; Cortecero, M. D. S. (2005). Tecnologia de Alimentos. Porto Alegre: Artmed, v. 2.

Oenema, O, G. L. Velthof, S. Yamulki, S.C. Jarvis, 1997. Nitrous oxide emissions from grazed grassland. Soil use and Management, 13, 288-295.

Rodrigues, A.M., U. Cecato, N.M. Fukumoto, et al. 2008. Concentrações e quantidades de macronutrientes na excreção de animais em pastagem de capim-Mombaça fertilizada com fontes de fósforo. Revista Brasileira Zootecnia, v.37, p. 990-997.

Schirmann, J. D. F. Bastos, D. A. Weiler, M. G. Veloso, J. Dieckow, P. C. Carvalho, and C. Bayer. 2020. Nitrous oxide emission factor from cattle urine and dung in native grassland of the Pampa Biome, South Brazil. Soil Res. doi.org/10.1071/sr19095.

Signor, D., C. E. Cerri, and R. Conant. 2013. N₂O emissions due to nitrogen fertilizer applications in two regions of sugarcane cultivation in Brazil. Environ. Res. Lett. 8:015013. doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015013

Palmquist, D. L., Mattos, W. R. S., 2011. Metabolismo de lipídeos. In: Berchieli, T.T.; Pires, A.V.; Oliveira, S.G. (Ed.). Nutrição de ruminantes. 2. ed. p.299-322. Jaboticabal: Funep.

Passetti, R. A. C., Torrecilhas, J. A., Ornaghi, M. G., Mottin, C., & Guerrero, A. (2016). Determinação da coloração e a disposição de compra pelos consumidores da carne bovina. Pubvet, 10(2), 179-189.

Philippe, M.G., Clementino, F.M.M., Gadotti, G.A., Puel, A.C.; Martins, C.E.N., Moreira, F., Oliveira Júnior, J.M.; Peripolli, V.(2020). Características da carcaça e da carne de bovinos de corte certificados. Brazilian Journal of Development, v.6, n.7, p.52942-52951. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-805>.

Pitchford, W. S., Deland, M. P. B., Siebert, B. D., Malau-Aduland, A. E. O., & Bottema, C. D. K. (2002). Genetic variation in fatness and fatty acid composition of crossbred cattle. Journal of Animal Science, 80(11), 2825-2832.

Polizel Neto, A., Roça, R. D. O., Arnandes, R. H. B., Bonilha, S. M., Araújo, C. V. D., Gomes, H. F. B., & Bento, F. C. (2022). Cottonseed and Soy-bean agro-industrial by-products used in feedlot cattle diet: effects on beef fatty acid profile and quality parameters. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 23.

Priolo, A., Micol, D., & Agabriel, J. (2001). Effects of grass feeding systems on ruminant meat colour and flavour. A review. *Animal research*, 50(3), 185-200.

Reddy, P. V., Morrill, J. L., & Nagaraja, T. G. (1994). Release of free fatty acids from raw of processed soybeans and subsequent effects on fiber digestibilities. *Journal of Dairy Science*, 77(11), 3410-3416.

Rodrigues Filho, M., Andrade, I. F., Ladeira, M. M., Rodrigues, N. E. B., & Lopes, L. S. (2013). Características de carcaça e cortes comerciais de tourinhos Red Norte suplementados com óleos de fritura e soja terminados em confinamento. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 14, 54-66.

Rodrigues, L. D. S., Alves Filho, D. C., Brondani, I. L., Moura, A. F. D., Silva, M. A. D., & Domingues, C. C. (2019). Desempenho, características de carcaça e da carne de novilhas da sexta geração do cruzamento Charolês x Nelore abatidas aos 18 meses de idade. *Ciência Animal Brasileira*, 20, e50327.

Rubensam, J. M., Felício, P. E. D., & Termignoni, C. (1998). Influência do genótipo *Bos indicus* na atividade de calpastatina e na textura da carne de novilhos abatidos no sul do Brasil. *Food Science and Technology*, 18, 405-409.

Rule, D. C., & Beitz, D. C. (1986). Fatty acids of adipose tissue, plasma, muscle and duodenal ingesta of steers fed extruded soybeans. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 63(11), 1429-1436.

Ramalho, and C. Bayer. 2018. Nitrous oxide emission factors from cattle urine and dung, and dicyandiamide (DCD) as a mitigation strategy in subtropical pastures. *Agric. Ecosyst. Environ.* 267:74–82. doi.org/10.1016/j.agee.2018.08.013.

Sordi, A., J. Dieckow, C. Bayer, M. A. Albuquerque, J. T. Piva, J. A. Zanatta, M. Tomazi, C. M. da Rosa, and A. de Moraes. 2014. Nitrous oxide emission factors for urine and dung patches in a subtropical Brazilian pastureland. *Agric. Ecosyst. Environ.* 190:94–103. doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.004.

Van der Weerden, T. J., J. Luo, C. A. M. de Klein, C. J. Hoogendoorn, R. P. Littlejohn, and G. J. Rys. 2011. Disaggregating nitrous oxide emission factors for ruminant urine and dung deposited onto pastoral soils. *Agric. Ecosyst. Environ.* 141:426–436. doi.org/10.1016/j.agee.2011.04.007

Van Groenigen, J. W., G.L. Velthof, Van Der Bolt, F. J., Vos, A., Kuikman, P. J. 2005. Seasonal variation in N₂O emissions from urine patches: effects of urine concentration, soil compaction and dung. *Plant and Soil*, v. 273, n. 1-2, p. 15-27

Santos, F. A. P., da Silva Marques, R., & Dórea, J. R. R. (2016). Grain processing for beef cattle. *Rumenology*. São Paulo: Springer. Cap. 8, p. 213-242, 2016.

Sousa, G. C. M., Pinto, C. D. O., Oliveira, D. C. D. S., Santos, L. K. D. J., Queiroz, M. S., Azevedo, P. G. F. D., & Cavalcanti, L. A. P. (2021). Aplicações do óleo residual de fritura visando à mitigação de impactos ambientais: uma revisão integrativa. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 8(20), 1441-1457. [10.21438/rbgas\(2021\)082012](https://doi.org/10.21438/rbgas(2021)082012).

USDA-United States Department of Agriculture (2023). Livestock and Poultry: World Markets and Trade. Disponível em: <https://fas.usda.gov/data/livestock-and-poultry-world-markets-and-trade>. Acesso em: 28/12/2023.

Valinote, A. C., Nogueira Filho, J. C. M., Leme, P. R., Silva, S. D. L., & Cunha, J. A. (2005). Fontes de lipídeos e monensina na alimentação de novilhos Nelore e sua relação com a população de protozoários ciliados do rúmen. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34, 1418-1423.

Van Soest PJ. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed. Ithaca: Cornell University Press; 1994.

Vaz, F. N., Restle, J., Feijó, G. L. D., Brondani, I. L., Rosa, J. R. P., & Santos, A. P. D. (2001).

Qualidade e composição química da carne de bovinos de corte inteiros ou castrados de diferentes grupos genéticos Charolês x Nelore. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30, 518-525.

Warner, R. D., & Ha, M. (2019). Utilising high pressure processing for meat tenderisation. *Reference Module in Food Science*. [doi:10.1016/b978-0-08-100596-5.21348-6](https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.21348-6)

Warner, R. D., Wheeler, T. L., Ha, M., Li, X., Bekhit, A. E. D., Morton, J., ... & Zhang, W. (2022). Meat tenderness: Advances in biology, biochemistry, molecular mechanisms and new technologies. *Meat Science*, 185, 108657.

Whipple, G., Koohmaraie, M., Dikeman, M. E., Crouse, J. D., Hunt, M. C., & Klemm, R. D. (1990). Evaluation of attributes that affect longissimus muscle tenderness in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. *Journal of animal science*, 68(9), 2716-2728.

Woollett, L. A., Spady, D. K., Dietschy, J. M. (1992). Saturated and unsaturated fatty acids independently regulate low-density lipoprotein receptor activity and production rate. *Journal of Lipid Research*, 33, 77–88.

CAPÍTULO 2- ARTIGO 1

Influence of genotype and diet on meat quality of confined heifers

Rosimeire Pereira da Silva, Lucas Freires de Abreu, Fernando Antônio de Souza, Tânia Dayana do Carmo, Ramon Costa Alvarenga, Ângela Maria Quintão Lana, Márcia Cristina Teixeira de Silveira, Luciano Soares de Lima, Mário Luiz Chizzotti, Dante Pazzanese Duarte Lanna, Pedro Henrique Vilela Carvalho, Leandro Sâmia Lopes

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the effect of cattle genotype and the inclusion of yellow grease (YG) on carcass characteristics and meat quality of confined heifers. Twenty Nellore (*Bos indicus*) heifers with an initial body weight (IBW) of 321.0 ± 42.2 kg and 20 crossbred (Angus $\times$ Nellore) heifers with an IBW of 389.6 ± 80.6 kg were used. The animals were confined for 105 days, receiving diets formulated for an average daily gain of 1.3 kg/day. A completely randomized design was used in a 2x2 factorial arrangement (genetic group $\times$ diet) with ten replicates per treatment. *Longissimus dorsi* muscle samples between the 12th and 13th ribs of each right half carcass were collected and subdivided into three 2.5 cm thick steaks for later meat quality analysis. Crossbred heifers had a greater final body weight, dressed carcass weight (DCW), and average daily carcass gain. The DCW and shear force were not influenced ($P>0.05$) by genotype or diet. There was no difference ($P>0.05$) in saturated and unsaturated fatty acid concentrations. Industrial crossbreeding resulted in the slaughter of heavier animals. The inclusion of 3.5% YG in the diet had no negative effects on meat quality of heifers finished in feedlots.

KEYWORDS: genetic groups, tenderness, fatty acid profile, meat color

1. INTRODUCTION

In recent years, Brazil became the world's 2nd largest beef producer and 1st exporter (USDA, 2023). However, its production system is characterized by pasture-based animal raising, with approximately 83.4% of slaughtered animals finished in pastureland (ABIEC, 2024). This characteristic might result in advanced age slaughter and with poor carcass fat coverage, which directly impacts meat quality. The aim for more efficient production technologies with greater flexibility to adapt to consumer demands is essential to ensure the competitiveness and socio-environmental sustainability of Brazilian beef (Moriel et al., 2020).

Meat quality depends on both intrinsic factors, such as breed, sex, and age, as well as

extrinsic factors, such as management, nutrition, and the slaughter environment. These factors act individually or in combination, defining the physicochemical and sensory characteristics of the meat. Crossbreeding between *Bos indicus* and *Bos taurus* has been frequently used in Brazilian beef cattle production. The breeding goal is to produce genetically superior animals, providing hardiness, greater biological efficiency combined with rapid deposition of muscle and fat (Rodrigues et al., 2017).

The Nellore breed (*Bos indicus*) is predominantly used in Brazilian herds (Oliveira et al., 2019; ABIEC, 2024), and its crossing with Angus (*Bos taurus*) has provided genetically superior animals due to racial complementarity in more intensive production systems such as confinement (Amaral et al., 2018). Monteiro et al. (2022) observed that crossbred animals (Angus × Nellore) presented better performance and fatty acid profile when compared to purebred Nellore. Furthermore, the authors observed the potential of the genotype to alter the fatty acid profile of meat, with Nellore animals producing meat with a better fatty acid profile when compared to crossbred animals. Such cattle genotypic differences in lipid metabolism highlight the importance of evaluating dietary energy sources that can modulate intramuscular fat deposition and meat quality.

Vegetable oil are energy-dense ingredients that can improve diet texture and palatability while mitigating cattle enteric methane emissions (Ibrahim et al., 2021). Previous studies have reported consistent improvements in meat quality and fatty acid (FA) composition in *Bos taurus* (Vatansever et al., 2000) and *Bos indicus* × *Bos taurus* crossbreds (Ladeira et al., 2014, Maciel et al., 2019) fed vegetable oils. Andrade et al. (2001) observed that the addition of oil in cattle diet increased marbling scores and the prevalence of unsaturated fatty acids (UFA) in *Longissimus dorsi* while maintaining meat's sensory attributes. Meanwhile, Antonelo et al. (2020), observed that performance, carcass traits, and meat quality were not greatly affected by the group when fed oil.

Vegetable oils such as soybean, sunflower, canola, and palm oil have been extensively evaluated in livestock finishing diets. However, little emphasis has been placed on alternative sources, such as yellow grease (YG). The use of YG can help reduce production costs while also providing an environmentally responsible method of disposal.

It is estimated that Brazil produces approximately 3 billion liters of YG annually and approximately 1% is properly disposed after use. The remainder is released into nature without treatment (Sousa et al., 2021), which has a potential to pollute 25,000 liters of water for each liter of oil discharged into the sewer (Araújo et al., 2022). Therefore, converting yellow grease into animal feed could reduce the reliance on premium ingredients such as corn and soybeans.

This strategy also supports a circular economy and mitigates the environmental impacts of improper disposal.

Therefore, we hypothesized that the inclusion of YG would modulate carcass characteristics and meat quality differently between genotypes, and that potential genotype-specific responses would be more evident under diets containing YG. The objective of this study was to evaluate the influence of genotype and dietary YG inclusion on carcass traits and meat quality of heifers finished in a confinement system.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Experiment site

The research was conducted in the feedlot of the Brazilian Agricultural Research Corporation – Embrapa Maize and Sorghum, located in the Sete Lagoas, Minas Gerais, Brazil (19°28'S; 44°15'W, 732 m altitude). The Ethics Committee for Animal Use (CEUA) of the Federal University of Minas Gerais approved all experimental procedures used in this research (UFMG, protocol number 160/2022).

2.2. Animals and feed management

Twenty Nellore heifers (initial body weight; IBW = 321.0 ± 42.2) and 20 crossbred heifers (Angus × Nellore; IBW = 389.6 ± 80.6) with approximately 15 months old. Animals from each genetic group were randomly assigned to four collective pens (20 x 12 m; with 10 animals/pen), according to the evaluated diet: Pen I - crossbred heifers that received yellow grease; Pen II - Nellore heifers that received yellow grease; Pen III - crossbred heifers that received a control diet; and Pen IV - Nellore heifers that received a control diet. Upon entering the feedlot, animals were dewormed and treated for ectoparasites. Experiment lasted 105 days, with 15 days of diet adaptation and 90-day experimental period. Animals were fed twice a day (0800 and 1500 h), with daily adjustments to maintain a 5 to 10% refusals, and water provided ad libitum. Diet adaptation began with a 50:50 roughage:concentrate ratio, with 5% concentrate increase every 5 days until reaching a 75% concentrate on DM basis. The diets were formulated based on requirements of BR-CORTE (2016) for an average daily gain of 1.3 kg/day (Table 1).

2.3. Animal slaughtering, collection, and evaluation of meat quality

Animals were slaughtered at a commercial facility following humane slaughter procedures, in accordance with the Ministry of Agriculture regulations (RIISPOA, 1997). Dressed carcass weight (DCW) was determined as the ratio of HCW to final body weight

(FBW), and average daily carcass gain (ADGc) was calculated using the following equation.

$$ADGc = [DCW - (IBW * 50\%)] / \text{days in confinement} \quad (3)$$

where: ADGc = average daily carcass gain; DCW = dressed carcass weight; IBW = initial body weight.

After cooling the carcasses (48 h after slaughter), *Longissimus dorsi* (LD) samples were collected between the 12th and 13th ribs in each right half carcass. Then, each sample was fragmented into three sub-samples (steaks) of 2.5 cm thickness, properly identified, vacuum-packed and frozen for later analysis.

One steak from each sample was used for color analysis, thawing and cooking losses, and later for shear force and sarcomere length assessment. The second steak was divided into two parts, one used for proximate composition analysis and the other for lipid oxidation, and the third steak was used for fatty acid profile analysis.

2.3.1. pH determination and color indices

To determine pH and color indices, the steaks were thawed for 16 hours at 4°C. After thawing, the samples were unpacked and exposed to atmospheric air for 30 minutes to oxygenate the myoglobin. After removing the pieces from the packaging, the pH was determined using a Mettler M1120x digital potentiometer (Mettler International Inc., Columbus, OH, USA) equipped with an insertion electrode with a resolution of 0.01 units. The instrument was calibrated in pH 4.0 and 7.0 buffer solutions. Two pH readings were obtained for each sample.

The determination of color components such as lightness (L^*), redness (a^*), and yellowness (b^*) was performed on the surface of the samples exposed to atmospheric air. The CIE L^* , a^* , and b^* readings were taken using a MiniScan EZ 45/0 LAV spectrophotometer (Hunter Associates Laboratory Inc., Reston, VA, USA), adjusted to the D65 illuminant source and a 10° observer angle. Five readings were taken for each sample at different points, and then the average value was used. To determine the chroma (c^*) and hue angle (h^*) values, the L^* , a^* , and b^* coordinates were used according to MacDougall (1994) based on the following equations:

$$Chroma = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \quad (4)$$

$$\text{Matrix angle} = \arctan (b^*/a^*) \quad (5)$$

The reflected wavelengths from the instrument were recorded in the range of 400–700 nm at 10 nm intervals, and the reflectance ratio at 630 nm and 580 nm (R630/580) was used directly to assess color stability during display. The reflectance (R) at 473, 525, 572, and 700 nm was converted to reflect attenuation (A) using the equation: $A = \log(1/R)$, and the relative percentage of three redox forms of myoglobin was calculated following AMSA (2012) equations:

$$\text{Deoximioglobine (DMb \%)} = \{2,35 * [1 - (A_{473}-A_{700}/A_{525}-A_{700})]\} * 100 \quad (6)$$

$$\text{Oximioglobine (OMb \%)} = 100 - (\%MMb + \%DMb) \quad (7)$$

$$\text{Metamioglobine (MMb \%)} = (1.395 - (A_{572}-A_{700} / A_{525}-A_{700})) \quad (8)$$

2.3.2. Losses, shear force, sarcomere length

Thawing loss was considered as the gravimetric difference between the steaks before and after thawing for 16 hours at 4°C. For cooking loss, the steaks were cooked in a water bath for 60 minutes. Total losses were obtained by the difference in weight between the frozen and post-cooked samples. Losses were expressed as a percentage of the steak's pre-thawing weight, according to the following formula:

$$\text{Losses (\%)} = [(initial\ weight - cooked\ weight) / initial\ weight] * 100 \quad (9)$$

Shear force was measured on the same steak used to estimate losses. After cooking, the steaks were refrigerated for 16 hours at 4°C. After this period, five cylindrical samples measuring 1.27 cm in diameter were removed from each steak, parallel to the orientation of the muscle fibers, using a properly sharpened stainless steel sampler. The cylindrical samples were sheared perpendicular to the orientation of the muscle fibers, using a V-cutting blade, with an angle of 60° and thickness of 1.016 mm and a fixed speed of 20 cm/min, coupled to the TA.XT2i Texture Analyzer (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Surrey, United Kingdom). The maximum forces used to break the cylindrical samples were recorded, with the average of the five repetitions being the shear force value attributed to each sample and the area under the deformation curve as the softness parameter.

2.3.3. Proximate composition and lipid peroxidation

To determine the chemical composition, the samples were freeze-dried and then ground in a multiprocessor until a homogeneous mass was obtained. The DM, MM, and CP contents were determined according to methodologies described by Detmann et al. (2021). The moisture content was determined indirectly through dry matter analysis, considering the difference in weight. The EE content was quantified using an ANKOM TX15 apparatus (ANKOM Technology, Macedon, NY). The methodology used followed the recommendations according to ANKOM.

Tissue lipid peroxidation was assessed by measuring malondialdehyde (MDA) concentrations using the thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) test according to the methodology described by Buege & Aust, (1978). The results are expressed in nmol MDA equivalents per g of soluble protein.

2.3.4. Meat fatty acid profile

The fatty acid profile was analyzed by high-resolution gas chromatography. The lipids present in the LD muscle were extracted following the methodology of Folch Lee and Sloane-Stanley (1957) and esterified according to the methodology described by Hartman and Lago (1973).

Fatty acids were identified by comparison with retention times presented by the chromatographic standard C4:0 to C24:0 (Supelco 37 FAME Mix, Merck KGaA, Darmstadt, Germany). The molar percentage of fatty acids was calculated by dividing the peak concentration of the individual fatty acid area by the total peak concentration of all fatty acids, giving a result in grams of fatty acids per 100 grams of fatty acid (g/100g). The activity index of the $\Delta 9$ desaturase and elongase enzyme was determined according to Malau-Aduli et al. (1997), Kazala et al. (1999), and Pitchford et al. (2002) from mathematical indices presented below:

$$\Delta 9 \text{ desaturase } C16 = 100 * [(C16:1 \text{ cis } 9) / (C16:1 + C16:0)] \quad (10)$$

$$\Delta 9 \text{ desaturase } C18 = 100 * [(C18:1 \text{ cis } 9) / (C18:1 + C18:0)] \quad (11)$$

$$\text{Elongase} = 100 * [(C18:0 + C18:1 \text{ cis } 9) / (C16:0 + C16:1 \text{ cis } 9 + C18:0 + C18:1 \text{ cis } 9)] \quad (12)$$

The atherogenicity index (AI) was calculated using the equation proposed by Ulbrich and Southgate (1991).

$$AI = [C12:0 + 4(C14:0) + C16:0] / \Sigma n6 + \Sigma n3 + MUFA \quad (13)$$

The thrombogenicity index (TI) was calculated using the equation also proposed by Ulbrich and Southgate (1991) as an indicator for the onset of coronary thrombosis.

$$AI = [C14:0 + C16:0 + C16:0] / [0,5(\Sigma MUFA) + 0,5(\Sigma n6) + 3(\Sigma n3) + (\Sigma n3/\Sigma n6)] \quad (14)$$

2.4. Statistical analysis

Data analysis was performed using the statistical analysis software R (R Core Team, 2022), according to the generalized linear models methodology described by Pinheiro and Bates (2000), according to the statistical model:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (15)$$

where, Y_{ijk} = observation of the k-th experimental unit that received level j of factor β (diet) and level i of factor α (genotype); μ = general mean of the experiment; α_i = It is the effect of level i of factor α (i = Nellore, crossbred); β_j = effect of level j of factor β (j = with or without oil); $(\alpha\beta)_{ij}$ = effect of the interaction between factors α and β ; ε_{ijk} = experimental error associated with repetition, where $\varepsilon_{ijk} \sim N(\mu, \sigma^2)$.

The statistical assumptions of normality and homoscedasticity were assessed using the Shapiro-Wilk (Shapiro and Wilk, 1965) and Bartlett (Bartlett, 1937) tests, respectively. The means of the isolated factors were compared using the F test ($P < 0.05$) when there was no interaction effect. In the case of an interaction, the Tukey test ($P < 0.05$) was used in the unfolding comparisons.

3. RESULTS

3.1. Physicochemical parameters of the *longissimus dorsi* muscle

An interaction ($P < 0.05$) between genetic group and diet was observed for moisture and ether extract contents (Table 2). Crossbred heifers that received YG in the diet had lesser moisture content (69.58%) and greater ether extract content (9.09%) compared to the other treatments. For the other variables analyzed, no interaction ($P > 0.05$) was observed between genetic group and diet.

There was no effect of genotype or diet on pH, thawing and cooking losses, and shear rate ($P > 0.05$) (Table 2). However, malondialdehyde (MDA) levels, indicative of lipid oxidation, were greater in carcasses from Nellore heifers compared to crossbreds (0.53 vs. 0.42

$\mu\text{mol/g}$; $P \leq 0.05$).

3.2. Color of meat and fat

No interaction ($P > 0.05$) between genetic group and diet was observed for meat and fat color parameters, indicating that the effects of the evaluated factors are independent of each other (Table 3). Genetic groups significantly influenced these variables. Nellore heifers had greater mean metmyoglobin (MMb) and deoxymyoglobin (DMb) values, suggesting darker meat color and potentially less color stability, which may affect consumer acceptance.

Regarding diet, heifers fed YG exhibited less redness ($a = 18.63$) than those fed the control diet ($a^* = 19.63$), suggesting reduced myoglobin oxygenation or increased oxidation that may negatively affect visual appeal. No differences were detected in chroma (c^*) or hue angle (h^*) across genotypes or diets ($P > 0.05$; Table 3).

In terms of fat color, there was a significant difference between the genetic groups for c^* and b^* , with greater values for crossbred heifers ($c^* = 24.67$ vs. 22.45 ; $b^* = 22.01$ vs. 20.27), which indicates a more yellowish fat color in this group. The diet did not influence the fat color variables evaluated in this group ($P > 0.05$), suggesting that the use of YG did not compromise the visual appearance of the fat.

3.3. Fatty acid profile in the *Longissimus dorsi* muscle

The analysis of the fatty acid profile in the *Longissimus dorsi* muscle of Nellore and crossbred (Nellore $\times$ Angus) heifers indicated that there was no interaction between genetic group and diet ($P > 0.05$; Table 4). Regarding the effect of genetic group, Nellore heifers presented greater levels of myristic acid (C14:0) and decreased levels of oleic acid (C18:1n-9), compared to crossbred heifers ($P < 0.05$). For the dietary effect, a difference was observed only for pentadecanoic acid, with greater concentrations in heifers fed the control diet compared with those fed YG (0.33 vs. 0.28 ; $P < 0.05$). The control diet also resulted in greater concentrations of trans-octadecenoic acid ($P < 0.01$).

There was no interaction between genetic group and diet ($P > 0.05$; Table 5). When comparing the isolated factors, no difference was observed for the evaluated genetic groups ($P > 0.05$). Regarding the diets, there was a difference in the proportions of n-6/n-3 (5.71 vs. 6.47) with greater means for the diet containing YG ($P < 0.05$), in relation to the diet containing YG.

The $\Delta 9$ desaturase 16 enzyme activity index (14.95) in the YG diet was greater than the

control (13.12).

4. DISCUSSION

An interaction effect (Genotype x Diet) was observed for moisture and EE variables. Crossbred animals fed YG had decreased moisture content (69.58%) and greater EE content (9.09%; $P < 0.05$) when compared to the other treatments. The EE content in the *Longissimus dorsi* muscle was not affected by the diet, despite the greater energy concentration of the diet containing YG ($P > 0.05$). However, the crossed genetic group had greater EE levels (8.13 YG diet vs. 6.74 control), which can be explained by the greater FBW of these animals, which may have contributed to greater intramuscular fat deposition ($P < 0.05$). Moisture and fat levels demonstrated a negative correlation, such that greater fat content was associated with decreased moisture and vice versa. Among meat constituents, fat exhibits the greatest variability, with its proportion influenced by factors including species, breed, sex, management, diet, muscle type, age, and even climatic conditions (Maturano, 2003).

There was no effect of genetic group or diet on the CP and MM variables ($P > 0.05$). Protein levels in meat are practically constant, with little difference in chemical composition for the same animal species and the same muscle studied (Abrahão et al., 2008). The average values of moisture, CP, MM, and EE observed in this study are within the range of values for beef, which is composed primarily of water (65 to 80%), protein (16 to 22%), and fat (3 to 13%), but also contains ash and small amounts of non-protein nitrogenous substances (free amino acids, peptides, nucleotides, creatine), carbohydrates, lactic acid, minerals, and vitamins (Ordóñez et al., 2005). Greater fat deposition reduces mineral deposition, since the concentration of these inorganic elements in adipose tissue is decreased than in muscles and bones (Paulino et al., 2009).

There were no differences in pH across diets and genotypes. Final meat pH is influenced by the metabolism of glucose and lactate into lactic acid, and the resulting pH reduction is one of the most important requirements for transforming muscle into high-quality meat. Muscle pH at slaughter typically ranges from 7.2 to 7.4 but declines to 5.8–5.4 within 24–48 h postmortem (Ribeiro et al., 2022). In contrast, Miguel et al. (2014) observed greater pH values in meat from crossbred (Nellore × Aberdeen Angus) feedlot-finished cattle compared with Nellore cattle.

These pH values are justified by the appropriate management employed in the pre-slaughter processes of heifers, as stressful handling during this period can lead to excessive muscle glycogen expenditure, depleting reserves that would later be used for rigor mortis and

a drop in muscle pH. With muscle glycogen saturation, the post-mortem transformation process leads to a change in the acidity level of the meat, resulting in a high pH, which produces dark-colored cuts (Maximiano et al., 2021).

Shear force is widely used as an objective indicator of meat tenderness, one of the main sensory characteristics valued by consumers. Therefore, the data obtained in this study indicate there was no interaction between genotype and diet, and that SF was not influenced by either factor alone, with an overall average of 4.66 kgf (Table 2). The similarity observed between treatments can be partially attributed to the fact that all animals were relatively young and were housed in the same production system.

Based on the classification proposed by Boleman et al. (1997), meat with a SF greater than 5.9 kgf is considered not very tender. These authors categorized meat tenderness into the following levels: very tender (2.3 to 3.6 kgf), moderately tender (4.1 to 5.4 kgf), and not very tender (5.9 to 7.2 kgf). Based on this classification, the meat from the Nellore and crossbred heifers evaluated in this study, regardless of the diet provided, falls into the moderately tender meat category.

McGee et al. (2022) also observed no differences in the tenderness of meat from crossbred (Charolais × Limousin) cattle finished on pasture or in feedlots, even when faced with heavier carcasses and greater fat thickness in confined animals, which supports our findings. Similarly, Polizel Neto et al. (2022), evaluated different levels of ether extract (3%, 4%, and 5%) from the inclusion of cottonseed and soybean by-products in the diet of feedlot Nellore cattle, and concluded that neither the lipid source nor the ether extract content influenced shear force, with an overall average of 5.71 kgf being recorded among treatments.

There were no differences in CL between genotypes or diets ($P>0.05$). Similar to previous findings (Fiorentini et al., 2018; Monteiro et al., 2022), genotypes did not differ in cooking losses. Cooking loss is a key indicator of meat quality, as heat during cooking induces changes in appearance and physical properties, such as tenderness and yield at consumption. Protein denaturation occurs progressively with temperature: myosin between 54–58°C, collagen between 65–67°C, and actin between 80–83°C. Water is expelled due to the shrinkage of connective tissue, directly affecting the sensory perception of juiciness. Consequently, greater water loss during cooking leads to reduced succulence and texture deterioration in meat (Moraes and Rodrigues, 2017).

The MDA (1,3-propanedial) is one of the most important aldehydes produced during the secondary lipid oxidation of PUFA. Therefore, even in small amounts, it can produce rancid aromas in meat (Domínguez et al., 2019). Furthermore, MDA is important for industry and

scientific research because it can be used to determine lipid peroxidation through the TBARS (Thiobarbituric Acid Reactive Substances) test, which is the most widely used assay to evaluate the effects of lipid oxidation in meat (Min & Ahn, 2005).

Crossbred heifers had greater MDA concentrations (0.52 vs. 0.42 $\mu\text{mol/g}$) compared to crossbred heifers ($P=0.027$). These results suggest that crossbred animals have greater resistance to oxidative stress. Some studies have suggested MDA limits in beef for consumer acceptance, with values between 1 and 3.11 g/kg (McKenna et al., 2005; Campo et al., 2006; Hughes et al., 2015). Therefore, despite the observed differences, the genotypes presented values that would not cause consumer rejection for this attribute (0.42 to 0.53 g MDA/kg). On the other hand, YG supplementation did not promote change in MDA levels ($P = 0.86$). Those findings indicate that diet did not influence tissue lipid peroxidation in the present study. Furthermore, the absence of an interaction between genotype and diet ($P = 0.71$) suggests that the effect of genotype on oxidative stress levels was consistent, regardless of the diet evaluated.

The similarity in slaughter age among genetic groups may have contributed to the absence of differences in meat color parameters (Table 4). No differences were detected in the L, a^* , or b^* indices between genotypes ($P > 0.05$). Meat discoloration and spoilage are primarily associated with exposure of the surface to oxygen, which promotes oxidation of both lipids and the muscle pigment myoglobin. The PUFA are particularly susceptible to oxidation, leading to the rapid formation of hydroperoxides as initial reaction products (Jose et al., 2016). These hydroperoxides are highly unstable, and their breakdown produces compounds responsible for undesirable flavors and odors in meat (Domínguez et al., 2019). The absence of diet or genotype effects on total PUFA content may therefore explain the lack of differences in meat color stability over time.

A difference was observed in the redness index (a), which was greater in meat from heifers fed the YG diet compared with the control diet (19.64 vs. 18.63; $P<0.05$). Redness is the most relevant beef color parameter, as reductions in a^* values reflect the oxidation of oxymyoglobin to metmyoglobin and the transition from a bright red to a brown color (Muchenje et al., 2009). Despite the potential of YG to negatively influence meat color, the a^* values in this study remained within the normal range reported for cattle (L^* : 33.2–41.0; a^* : 11.1–23.6; b^* : 6.1 – 11.3; Muchenje et al., 2009).

The c and h^* indices are used to assess meat color intensity, saturation, and the degree of browning. Meat discoloration is typically associated with increased c^* and h^* values (Lee et al., 2005). In the present study, no differences in these indices were observed across genotypes or diets. The h^* index specifically reflects the shift from red to yellow, with greater angles

indicating reduced redness and decreased color stability (Ramos and Gomide, 2007). Similarly, Andrade et al. (2010) reported no differences in c^* and h^* values between Nellore and crossbred (*Bos indicus* $\times$ *Bos taurus*) cattle.

Regarding the evaluated SFA, myristic acid was the only indicator showing differences among genetic group, whereas Nellore demonstrated greater values than crossbred heifers (3.19 vs. 2.76; $P < 0.05$). The MUFA indicator trans-octadecenoic acid, demonstrated greater concentrations in meat from heifers fed the diet containing YG compared with the control diet (1.87 vs. 1.18; $P < 0.05$). Previous studies have reported that *Bos indicus* cattle may demonstrate greater concentrations of myristic acid and decreased concentrations of palmitic acid than *Bos taurus* and crossbred animals (St. John et al., 1991; Huerta-Leidenz, 1993). In the present study, myristic (C14:0), palmitic (C16:0), and stearic (C18:0) acids together accounted for an average of 94.7% of the total SFA across treatments.

It is well known that some saturated fatty acids (SFAs) increase low-density lipoprotein (LDL) cholesterol, which is a strong risk factor for cardiovascular disease (Mensink, 2016). Myristic and palmitic fatty acids have notable effects on both LDL and HDL cholesterol, but overall have little effect on the total cholesterol ratio. Stearic acid, compared with other SFAs, has been reported to reduce plasma LDL cholesterol levels and have no effect on HDL cholesterol (Mensink, 2005; Hunter 2010). Therefore, although stearic acid is a SFA, it does not appear to adversely affect cardiovascular disease risk, possibly because it is partially desaturated to form oleic acid (18:1 n-7) during metabolism (Sampath 2005). Oleic acid is a UFA with hypercholesterolemic function, as it acts by increasing plasma HDL, the crossed genetic group presented greater values for oleic acid (42.4 vs. 39.2) when compared with Nellore heifers.

There was no difference in the sum of SFA and UFA, regardless of genotype or diet. Corroborating this research, Antonelo et al. (2020) observed no effect of a diet including 3.5% soybean oil on SFA and UFA. Similarly, Silva et al. (2018) failed to detect any differences in muscle fatty acid composition when feeding Nellore bulls different forms of soybean lipids (oil, grains, or protected oil). Costa et al. (2020) evaluated the effects of different vegetable oil sources (linseed, soybean, sunflower) fed to uncastrated Nellore cattle but found no differences in total SFA and AGI concentrations.

The UFA predominates in beef, which was confirmed in the present study, with an overall treatment average of 57.65% (Di Marco et al., 2007). The greater UFA concentrations may be explained by the diet containing 75% concentrate, which can decrease ruminal pH, reduce biohydrogenation, and thereby increase post-ruminal absorption of UFA. In addition, the

greater passage rates of feedlot diets may enhance the escape of UFA from the rumen (Jenkins et al., 2008).

The PUFA/SFA ratio has been frequently used to analyze the nutritional value of oils and fats and indicate their cholesterol-raising potential. In the present study, mean values of 0.1 were found for the PUFA/SFA ratio for the groups evaluated. The World Health Organization (WHO, 2003) recommends values above 0.4 in the total diet for the PUFA/SFA ratio. Meat from ruminant animals has a low PUFA/SFA ratio, which occurs due to the extensive biohydrogenation of dietary fatty acids by rumen microorganisms. Other indicators of good ruminal biohydrogenation capacity are the similar PUFA levels in the muscle of the heifers evaluated. In agreement with the values observed in this study, Monteiro et al. (2022) observed a low PUFA/SFA ratio, finding values of 0.13 for crossbred animals and 0.17 for Nellore animals.

The n6/n3 values were similar for both genetic groups ($P>0.05$). The diet containing YG demonstrated a potential to increase the n-6/n-3 ratio, with a greater mean (6.47 vs. 5.71) compared to the control diet. The nutritional recommendations published by the World Health Organization (2003) recommend an n-6/n-3 ratio between 4:1 and 5:1 in the daily diet. An increase in the n-6/n-3 ratio is undesirable from a human health perspective. Despite being an important group of fatty acids, high levels of n-6 are responsible for triggering a series of physiological dysfunctions and immunological disorders (Haug et al., 2007). It is therefore important to reduce this ratio in the foods that are part of our diet.

The C18 desaturase index, elongase, atherogenicity, and thrombogenicity observed in this study were not influenced by genetic group, nor were they affected by diet. It should be noted that meat is only one ingredient in the human diet, and that one should consider not only its triglyceride content, but also the total content of the diet consumed. Beef consumption should be encouraged, as it contains fatty acids beneficial to human health, such as oleic acid and CLA. The latter is found only in animal products, mainly ruminants (Lopes et al., 2012).

5. CONCLUSION

Crossbreeding (Angus $\times$ Nellore) improved the productive performance of feedlot heifers without compromising meat quality. The inclusion of yellow grease in the diet also had no negative effects on the performance or meat quality characteristics of feedlot-finished heifers. Thus, the use of crossbred animals, combined with the adoption of nutritional strategies that include alternative ingredients, such as yellow grease, may represent a viable alternative for increasing production efficiency and promoting sustainability in beef cattle farming.

6. REFERENCES

- ABIEC, 2024. Beef Report 2024. Brazilian Beef Exporters Association. URL <https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2024-perfil-da-pecuaria-no-brasil/>
- Amaral, P.M., Mariz, L.D.S., Zanetti, D., Prados, L.F., Marcondes, M.I., Santos, S.A., Detmann, E., Faciola, A.P., Valadares Filho, S.C., 2018. Effect of dietary protein content on performance, feed efficiency and carcass traits of feedlot Nellore and Angus× Nellore cross cattle at different growth stages. *J. Agric. Sci.* 156, 110-117.
- AMSA, 2012. Meat Color Evaluation Guide. American Meat Science Association (AMSA), Champaign, Il.
- AMSA, 1995. Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness measurements of fresh meat. American Meat Science Association (AMSA), Chicago.
- Andrae, J.G., Duckett, S.K., Hunt, C.W., Pritchard, G.T., Owens, F.N., 2001. Effects of feeding high-oil corn to beef steers on carcass characteristics and meat quality. *J Anim Sci*, 79(3), 582.
- Antonelo, D.S., Gómez, J.F.M., Goulart, R.S., Beline, M., Cônsolo, N.R.B., Corte, R.R.S., Silva, H.B., Ferrinho, A.M., Pereira, A.S.C., Gerrard, D.E., Silva, S.L, 2020. Performance, carcass traits, meat quality and composition of non-castrated Nellore and crossbred male cattle fed soybean oil. *Livestock Sci.* 236, 104059.
- Araújo, A.R. da R., Guimaraes, B., Barbosa, C. da S., Costa, C.E.A., de, S., De Sousa, L.A.S., 2022. Logística reversa: óleo residual de fritura, uma proposta para os restaurantes da praça da alimentação do shopping Boulevard, Belém-Pará. *Brazilian Braz. J. Anim. Environ. Res.* 5 (2), 1517-1531.
- Augusto, W.F., Bilego, U.O., Missio, R.L., Guimarães, T.P., Miotto, F.R.C., Rezende, P.L. P., Neiva, J.N.M., Restle, J., 2019. Desempenho animal, características de carcaça e qualidade da carne de novilhos e novilhas F1 Angus-Nelore abatidos em confinamento com similar grau de acabamento. *Semin. Ciênc. Agrár.* 40 (4), 1681-1694.

Bai, H., Zhang, M., Zhao, Y., Wang, R., Zhang, G., Lambo, M. T., Zhang, Y. Li, Y., Wang, L., 2023. Altering the ratio of palmitic, stearic, and oleic acids in dietary fat affects nutrient digestibility, plasma metabolites, growth performance, carcass, meat quality, and lipid metabolism gene expression of Angus bulls. *Meat Sci.* 199,109138.

Barcellos, V.C., Mottin, C., Passetti, R.A.C., Guerrero, A., Eiras, C.E., Prohmann, P.E.F., Vital, A.C.P., Prado, I.N., 2017. Carcass characteristics and sensorial evaluation of meat from Nellore steers and crossbred Angus vs. Nellore bulls. *Acta Sci. Anim. Sci.* 39, 437-448.

Bekhit A.E., Morton J.D., Bhat Z.F., Kong L., 2019. Meat color: Factors affecting color stability. *Enc. Food Chem.* 1(2), 202-10.

Berchielli, T. T.; Garcia, A. V.; Oliveira, S. G., 2006. Principais técnicas de avaliação aplicadas em estudo de nutrição. *Nutr. Rumin.* 2, 565-600.

Boleman, S.J., Boleman, S.L., Miller, R.K., Taylor, J.F., Cross, H.R., Wheeler, T.L., Johnson, D.D, 1997. Consumer evaluation of beef of known categories of tenderness. *J. Anim. Sci.* 75, (6), 1521-1524.

Valadares Filho, S.C., Machado, P.A., Chizzotti, M.L., Amaral, P.M., 2016. BR-CORTE: Nutrient Requirements of Zebu and Crossbred Cattle. 3rd revised ed. Suprema Gráfica Ltda., Viçosa, MG, Brazil.

Waters, S.M., Kelly, J.P., O'boyle, P., Moloney, A.P., Kenny, D., 2009. Effect of level and duration of dietary n-3 polyunsaturated fatty acid supplementation on the transcriptional regulation of $\Delta 9$ -desaturase in muscle of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 87(1), 244-252.

Briggs, M.A., Petersen, K.S., Kris-Etherton, P.M., 2017. Saturated fatty acids and cardiovascular disease: replacements for saturated fat to reduce cardiovascular risk. *Healthcare.* 5 (2), 29.

Campos, M.M., Nute, G.R., Hughes, S.I., Enser, M., Wood, J.D., Richardson, R.I., 2006. Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Sci.* 72, 303-311.

Cappelle, E.R., Valadares Filho, S.C., Silva, J.F.C., Cecon, P.R., 2001. Estimates of the energy value from chemical characteristics of the feedstuffs. *Rev. Bras. Zootec.* 30, 1837-1856.

Costa, P.M., Barbosa, F.A., Alvarenga, R.C., Guimarães, S.T., Lampeão, A.A., Winkelstroter, L.K., Maciel, I.C.F., 2017. Performance of crossbred steers post-weaned in an integrated crop-livestock system and finished in a feedlot. *Pesq. Agropec. Bras.* 52, 355-365.

Costa F.D., Brito G., Lima J.M., Sant'Anna A.C., Costa M.J., Campo M.D., 2019. Lairage time effect on meat quality in Hereford steers in rangeland conditions. *Rev. Bras. Zootec.* 13 (48), e20180020.

Cruz, O.T.B., Valero, M.V., Zawadzki, F., Rivaroli, D.C., Prado, R.M., Lima, B.S., Prado, I. N., 2014. Effect of glycerine and essential oils (*Anacardium occidentale* and *Ricinus communis*) on animal performance, feed efficiency and carcass characteristics of crossbred bulls finished in a feedlot system. *Ital. J. Anim. Sci.* 13 (4), 3492.

Dallantonia, E.E., Fernandes, M.H.M.R., Cardoso, A.S., Leite, R.G., Ferrari, A., Ongaratto, F., Lage, J.F., Balsalobre, M.A.A., Reis, R.A., 2021. Performance and greenhouse gas emission of Nellore and F1 Angus × Nelore yearling bulls in tropical production systems during backgrounding and finishing. *Livestock Sci.* 251, 104646.

Detmann, E., Souza, M.A., Valadares Filho, S.C., Queiroz, A.C., Berchielli, T.T., Saliba, E.O.S., Cabral, L.S., Pina, D.S., Ladeira, M.M., Azevedo, J.A.G., 2012. Métodos para análise de alimentos – INCT – Ciência Animal, Visconde do Rio Branco: Suprema, 214.

Di Marco, O.N. (Ed), 1994. Crecimiento y respuesta animal. Buenos Aires: Asociación Argentina de Producción Animal. 129.

Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F.J., Zhang, W., Lorenzo, J.M., 2019. A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. *Antioxidants* (Basel, Switzerland). 8, 429.

Domínguez, R.; Gullón, P.; Pateiro, M.; Munekata, P. E. S.; Zhang, W.; Lorenzo, J. M., 2020. Tomato as potential source of natural additives for meat industry. A review. *Antioxidants*. 9(1), 73.

Duarte, M.S., Paulino, P.V.R., Valadares Filho, S.C., Paulino, M.F., Detmann, E., Zervoudakis, J.T., Monnerat, J.P.I.S., Viana, G.S., Silva, L.H.P., Serão, N.V.L., 2011. Performance and meat quality traits of beef heifers fed with two levels of concentrate and ruminally undegradable protein. *Trop. Anim. Health Prod.* 43, 877-886.

Engle, T.E., Spears, J.W., Fellner, V., Odle, J., 2000. Effects of soybean oil and dietary copper on ruminal and tissue lipid metabolism in finishing steers. *J. Anim. Sci.* 78 (10), 2713-2721.

Favero, R., Menezes, G.R.O., Torres, R.A.A., Silva, L.O.C., Bonin, M.N., Feijó, G.L.D., Altrak, G., Niwa, M.V.G., Kazama, R., Mizubuti, I.Y., Gomes, R.C., 2019. Crossbreeding applied to systems of beef cattle production to improve performance traits and carcass quality. *Animal*. 13 (11), 2679-2686.

Fiorentini, G., Lage, J.F., Carvalho, I.P.C., Messana, J.D., Canesin, R.C., Reis, R.A., Berchielli, T. T., 2015. Lipid sources with different fatty acid profile alters the fatty acid profile and quality of beef from confined Nellore steers. *Asian-Australas J. Anim. Sci.* 28 (7), 976.

Fiorentini, G., Messana, J.D., Neto, A.J., Sgobi, E.G., Castagnino, P.S., Berchielli, T.T., 2018. Performance and meat quality of Nellore bulls fed crude glycerin combined with soybean oil. *Anim. Feed Sci. Technol.* 241, 45-54.

Folch, J., Lees, M., Sloane-Stanley, G.H., 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. biol. Chem.* 226 (1), 497-509.

Granja-Salcedo, Y.T., De Souza, V.C., Dias, A.V.L., Gomez-Insuasti, A.S., Messana, J.D., Berchielli, T.T., 2017. Diet containing glycerine and soybean oil can reduce ruminal biohydrogenation in Nellore steers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 225, 195-204.

Hartman, L., Lago, R.C., 1973. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. *Lab. Pract.* 22 (6), 475-6.

Haug, A., While, S.G., Berg, J., Hove, K., Egelanddal, B., 2018. Feeding potentially health promoting nutrients to finishing bulls changes meat composition and allow for product health claims. *Meat Sci.* 145, 461-468.

Hughes, J.M., McPhail, N.G., Kearney, G., Clarke, F., Warner, R.D., 2015. Beef longissimus eating quality increases up to 20 weeks of storage and is unrelated to meat colour at carcass grading. *Anim. Prod. Sci.* 55, 174-179

Ibrahim, N.A., Alimon, A.R., Yaakub, H., Samsudin, A.A., Candyrine, S.C.L., 2021. Wan Mohamed, W.N., Md Noh, A., Fuat, M.A., Mookiah, S., 2021. Effects of vegetable oil supplementation on rumen fermentation and microbial population in ruminant: A review. *Trop. Anim. Health Prod.* 53, 1-11.

Ítavo, L.C.V., Ítavo, C.C.B.F., Dias, A.M., Gomes, M.N.B., Silva, A.G., Leal, E. S., Pereira, M.W.F., Pereira, C.S., Santos, G.T., 2021. Lipid rich diet from sunflower seeds can alter the proportion of fatty acids on hybrid Beefalo× Nellore cattle. *Trop. Anim. Health Prod.* 53, 1-8.

Jose, C.G., Jacob, R.H., Pethick, D.W., Gardner, G.E., 2016. Gardner. Short term supplementation rates to optimise vitamin E concentration for retail colour stability of Australian lamb meat. *Meat Sci.* 111, 101–109.

Kazama, R., Zeoula, L.M., Prado, I.N., Silva, D.C., Ducatti, T., Matshushita, M., 2008. Características quantitativas e qualitativas da carcaça de novilhas alimentadas com diferentes fontes energéticas em dietas à base de cascas de algodão e de soja. *Rev. Bras. Zootec.* 37, 350-357.

Knutson, E., Sun, X., Fontoura, A., Gaspers, J., Liu, J., Carlin, K., Bauer, M.L., Swanson, K.C., Ward, A.K., 2017. Effect of a low vitamin A diet on marbling and carcass characteristics of Angus cross and Simmental steers. *Transl. Anim. Sci.* 1, 90–94.

Ladeira, M.M., Santarosa, L.C., Chizzotti, M.L., Ramos, E.M., Neto, O.M., Oliveira, D.M., Carvalho, L.S., Ribeiro, J.S., 2014. Fatty acid profile, color and lipid oxidation of meat from young bulls fed ground soybean or rumen protected fat with or without monensin. *Meat Sci.* 96(1), 597-605.

Lee, M.S., Apple, J.K., Yancey, J.W.S., Sawyer, J.T., Johnson, Z.B., 2008. Influence of wet-aging on bloom development in the longissimus thoracis. *Meat Sci.* 80 (3), 703-707.

Lee, M.S., Decker, E.A., Faustman, C., Mancini, R.A., 2005. The effects of antioxidant combinations on color and lipid oxidation in n-3 oil fortified ground beef patties. *Meat Sci.* 70 (4), 683-689.

Loften, J.R., Linn, J.G., Drackley, J.K., Jenkins, T.C., Soderholm, C.G., Kertz, A.F., 2014. Invited review: Palmitic and stearic acid metabolism in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 97(8), 4661-4674.

MacDougall, D.B. Colour meat. In: Pearson, A.M., Dutson, T.R. (Eds.), 1994. *Colour meat. Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products – Advances in meat research series*, p. 79–93.

Maciel, I.C.F., Barbosa, F.A., Tomich, T.R., Ribeiro, L.G.P., Alvarenga, R.C., Lopes, L.S., Malacco, V.M.R., Rowntree, J.E., Thompson, L.R., Lana, A.M.Q., 2019. Could the breed composition improve performance and change the enteric methane emissions from beef cattle in a tropical intensive production system? *PloS one.* 14(7), e0220247.

Malau-Aduli, A.E.O., Siebert, B.D., Bottema, C.D.K., Pitchford, W.S., 1997. A comparison of the fatty acid composition of triacylglycerols in adipose tissue from Limousin and Jersey cattle.

McKenna, D.R., Mies, P.D., Baird, B.E., Pfeiffer, K.D., Ellebracht, J.W., Savell, J.W., 2005. Biochemical and physical factors affecting discoloration characteristics of 19 bovine muscles. *Meat Sci.* 70, 665-682.

Medeiros, S. R.; Albertini, T. Z., 2012. Uso de alimentos ricos em lipídios para alimentação de bovinos de corte: recomendações de uso, limitações e impactos na qualidade da carne. In: *Simpósio de produção de gado de corte*, 8, Anais. Viçosa, MG.

Miguel, G.Z., Faria, M.H., Roca, R.O., Santos, C.T., Suman, S.P., Faitarone, A.B., Delbem, N.L., Girao, L.V., Homem, J.M., Barbosa, E.K., Su, L.S., 2014. Immunocastration improves

carcass traits and beef color attributes in Nellore and Nellore $\times$ Aberdeen Angus crossbred animals finished in feedlot. *Meat Sci.* 96(2), 884-91.

Monteiro, P.A.M.; Maciel, I.C.F.; Alvarenga, R.C.; Oliveira, A. L.; Barbosa, F. A.; Guimaraes, S. T.; Souza, F.A.; Lanna, D.P.D.; Rodrigues, B.M.; Lopes, L.S., 2022. Carcass traits, fatty acid profile of beef, and beef quality of Nellore and Angus $\times$ Nellore crossbred young bulls finished in a feedlot. *Livestock Sci.* 256, 104829.

Muchenje, V., Dzama, K., Chimonyo, M., Strydom, P.E., Hugo, A., Raats, J.G., 2009. Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health: A review. *Food Chem.* 112(2), 279-289.

Oliveira, C.A., Millen, D.D., 2014. Survey of the nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists in Brazil. *Anim. Feed Sci. Techn.* 197, 64–75.

Ordonez, J.A., Rodriguez, M.I.C., Álvarez, L.F., Sanz, M.L.G., Minguillón, G.D.G.F., Perales, L.H., Cortecero, M.D.S., 2005. *Tecnologia de Alimentos*. Porto Alegre: Artmed. 2.

Oliveira, J.H.F., Pereira, R.J., Santana Jr., M.L., Eler, J.P., Ferraz, J.B.S., 2019. Nelore breed in Brazil: historical origin and genetic variability. *Livestock Sci.* 229, 23-31.

Paulino, P.V.R., Valadares Filho, S.C., Detmann, E., Valadares, R.F.D., Fonseca, M.A., Marcondes, M.I., 2009. Deposição de tecidos e componentes químicos corporais em bovinos Nelore de diferentes classes sexuais. *Rev. Bras. Zootec.* 38(12), 2516-2524.

Pitchford, W.S., Deland, M.P.B., Siebert, B.D., Malau-Aduliand, A.E.O., Bottema, C.D.K., 2002. Genetic variation in fatness and fatty acid composition of crossbred cattle. *J. Anim. Sci.* 80(11), 2825-2832.

Rashid, M.M., Hoque, M.A., Huque, K.S., Bhuiyan, A.K.F.H., 2016. Genotype $\times$ environment interactions in growth performance of brahman crossbred cattle in bangladesh. *Asian J. Anim. Sci.* 10, 68–76.

Ramos, E.M., Gomide, L.A.M., 2007. Avaliação da qualidade de carnes: Fundamentos e metodologias. Editora UFV, Viçosa.

Rodrigues, L.S., Alves Filho, D.C., Brondani, I.L., Moura, A.F., Silva, M.A., Domingues, C. C., 2019. Desempenho, características de carcaça e da carne de novilhas da sexta geração do cruzamento Charolês × Nelore abatidas aos 18 meses de idade. Ciên. Anim. Bras. 20, e50327

Santos-Silva, J., Dentinho, M.T., Francisco, A., Portugal, A.P., Belo, A.T., Martins, A.P.L., Alves, S.P., Bessa, R.J., 2016. Replacing cereals with dehydrated citrus pulp in a soybean oil supplemented diet increases vaccenic and rumenic acids in ewe milk. J. Dairy Sci. 99, 1173–1182.

Savel, J., Mueller, S., Baird, B., The chilling of carcasses., 2005. Meat Sci. 70 (3), 449-459.

Schoonmaker, J.P., Trenkle, A.H., Beitz, D.C., 2010. Effect of feeding wet distillers grains on performance, marbling deposition, and fatty acid content of beef from steers fed low- or high-forage diets. J. Anim. Sci. 88, 3657–3665

Shapiro, S.S., Wilk, M.B., 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika 52(3/4), 591-611.

Silva-Ramirez, A.S, Castillo, C.G., Navarro-Tovar, G., Gonzalez-Sanchez, H.M., Rocha-Uribe, A., Gonzalez-Chavez, M.M., Santamaria, A., Rangel-Lopez, E., Gonzalez, C., 2018. Bioactive isomers of conjugated linoleic acid inhibit the survival of malignant glioblastoma cells but not primary astrocytes. Euro. J. Lipid Sci. Tech. 120(11), 1700454.

Sousa, G.C.M., Pinto, C. de O., Oliveira, D.C. da S., Santos, L.K. de J., Queiroz, M.S., Azevedo, P.G.F. de, Cavalcanti, L.A.P., 2021. Aplicações do óleo residual de fritura visando à mitigação de impactos ambientais: uma revisão integrativa. Ver. Bras. Gestão Ambien. Sust. 8(20), 1441-1457.

Teixeira P.D., Oliveira, D.M., Chizzotti, M.L., Chalfun-Junior, A., Coelho, T.C., Gionbelli, M., Paiva, L.V., Carvalho, J.R., Ladeira, M.M., 2017. Subspecies and diet affect the expression of genes involved in lipid metabolism and chemical composition of muscle in beef cattle. Meat

Sci. 1(133), 110-8.

Ulbricht, T.L.V., Southgate, D.A.T., 1991. Coronary heart disease: seven dietary factors. *The Lancet*. 338 (8773), 985–992.

USDA-United States Department of Agriculture. Livestock and Poultry: World Markets and Trade. 2023. Disponível em: <https://fas.usda.gov/data/livestock-and-poultry-world-markets-and-trade>.

Valinote, A.C., Nogueira Filho, J.C.M., Leme, P.R., Silva, S.D.L., Cunha, J.A., 2005. Fontes de lipídeos e monensina na alimentação de novilhos Nelore e sua relação com a população de protozoários ciliados do rúmen. *R. Bras. Zootec.* 34, 1418-1423

Vahmani, P., Mapiye, C., Prieto, N., Rolland, D.C., McAllister, T.A., Aalhus, J.L., Dugan, M.E., 2015. The scope for manipulating the polyunsaturated fatty acid content of beef: a review. *J. Anim. Sci. Biotech.* 6, 1.

Van Soest, P.J., 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2nd ed. Ithaca: Cornell University.

Vatansever, L., Kurt, E., Enser, M., Nute, G.R., Scollan, N.D., Wood, J.D., Richardson, R.I., 2000. Shelf life and eating quality of beef from cattle of different breeds given diets differing in n-3 polyunsaturated fatty acid composition. *Anim. Sci.* 71(3), 471-482.

Vergara, H., A. Molina, L. Gallego., 1999. Influence of sex and slaughter weight on carcass and meat quality in light and medium weight lambs produced in intensive systems. *Meat Sci.* 52, 221–226.

Waters S.M., Kelly, J.P., O'boyle, P., Moloney, A.P., Kenny, D., 2009. Effect of level and duration of dietary n-3 polyunsaturated fatty acid supplementation on the transcriptional regulation of $\Delta 9$ -desaturase in muscle of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 87(1), 244-5

Table 1- Food and chemical composition of experimental diets.

Ingredients (%DM)	CON	YG
Sorghum silage	25,8	25,1
Yellow grease	-	3,5
Ground corn	67,3	66,2
Ground whole soybeans	3,1	1,3
Urea	1,2	1,5
Mineral supplement	2,5	2,4
Chemical composition (%DM)		
Dry matter (DM)	62,1	62,5
Minerals (MM)	5,9	5,3
Crude protein (CP)	12,3	11,3
Ethereal extract (EE)	4,2	7,1
Neutral detergent fiber (NDF)	33,8	30,6
Acid detergent fiber (ADF)	14,2	11,7
Total Digestible Nutrients (TDN)	71,7	73,5
Fatty acid profile (g/100 g FA)		
Palmitic acid (C16:0)	21,4	21,3
Stearic acid (C18:0)	3,6	5,2
Oleic acid (C18:1 n-9)	33,4	36,4
Linoleic acid (C18:2 n-6)	32,1	27,2
α -linolenic acid (C18:3 n-3)	4,8	4,6
Σ SFA	28,3	29,9
Σ UFA	71,2	69,4

CON= control diet; YG = Diet with yellow grease

Table 2- Physical and chemical parameters of meat from Nellore and crossbred heifers (Angus × Nellore) finished in confinement receiving yellow grease in the diet.

Indicator	Nellore		Crossbred		P-Value		
	CON	YG	CON	YG	Genotype	Diet	G*D
Humidity (%)	71,39Aa	72,29Aa	72,03Aa	69,58Bb	0,04	0,13	<0,01
Mineral matter (%)	1,09	1,12	1,10	1,12	0,89	0,32	0,76
Crude protein (%)	19,66	19,90	19,51	19,25	0,17	0,97	0,45
Ethereal extract (%)	6,26	7,34	7,18	9,09	0,02	0,49	0,01
pH	5,49	5,50	5,49	5,46	0,17	0,49	0,14
Thawing losses (%)	6,70	7,15	5,80	6,04	0,49	0,07	0,84
Cooking losses (%)	19,8	23,0	19,9	20,10	0,13	0,08	0,13
Shear force (kgf)	5,03	5,11	4,10	4,40	0,05	0,60	0,79
MDA (μmol/g)	0,53	0,50	0,42	0,42	0,02	0,86	0,71

CON = control diet; YG = Yellow grease diet; MDA = malondialdehyde; Significant at 5% (Tukey test).

Table 3- Meat color and fat parameters of Nellore and crossbred (Angus × Nellore) heifers finished in confinement receiving yellow grease in the diet.

Indicator	Nellore		Crossbred		P-Value		
	CON	YG	CON	YG	Genotype	Diet	G*D
Meat color							
Lightness (L*)	31,95	33,07	31,36	32,73	0,62	0,19	0,89
Redness (a*)	19,46	18,24	19,58	19,03	0,41	0,03	0,41
Yellowness (b*)	17,47	16,93	17,79	18,01	0,07	0,66	0,33
Chroma (c*)	26,16	24,91	26,38	26,21	0,12	0,16	0,29
Hue angle (h*)	41,90	42,90	42,26	43,33	0,49	0,08	0,94
Deoxymyoglobin (DMb %)	-23,42	-24,89	-13,05	-9,04	0,01	0,85	0,59
Oxymyoglobin (OMb %)	41,43	48,11	38,08	34,30	0,01	0,65	0,13
Metamyoglobin (MMb %)	81,99	76,78	74,86	74,75	0,14	0,42	0,40
Fat color							
Lightness (L*)	62,57	62,02	62,40	64,25	0,20	0,50	0,18
Redness (a*)	10,07	8,98	10,49	9,84	0,23	0,10	0,67
Yellowness (b*)	20,46	20,08	22,75	21,28	0,03	0,20	0,48
Chroma (c*)	22,88	22,02	23,48	25,07	0,03	0,11	0,65
Hue angle (h*)	63,50	65,85	65,45	65,20	0,62	0,42	0,29
Deoxymyoglobin (DMb %)	60,93	57,27	57,12	58,52	0,59	0,65	0,26
Oxymyoglobin (OMb %)	-41,00	-44,40	-67,80	-47,42	0,16	0,36	0,25
Metamyoglobin (MMb %)	80,07	87,13	110,32	88,90	0,13	0,14	0,17

CON = control diet; YG = Yellow grease diet; Significant at 5% (Tukey test).

Table 4- Fatty acid profile (g/100g of FA) in the *Longissimus dorsi* muscle of Nellore and crossbred (Nellore x Angus) heifers finished in confinement receiving yellow grease in the diet.

Indicator	Carbon	Nellore		Crossbred		P-Value		
		CON	YG	CON	YG	Genotype	Diet	G*D
Saturated fatty acids								
Myristic	C14:0	3,20	3,19	2,62	2,90	0,04	0,45	0,47
Pentadecanoic	C15:0	0,30	0,34	0,26	0,32	0,14	0,02	0,47
Palmitic	C16:0	24,18	24,39	24,88	24,52	0,38	0,82	0,52
Margaric	C17:0	0,82	0,83	0,76	0,91	0,89	0,12	0,21
Stearic	C18:0	12,20	12,47	13,10	12,45	0,57	0,73	0,71
Eicosanoic	C20:0	0,26	0,28	0,26	0,19	0,26	0,49	0,35
Monounsaturated fatty acids								
Myristoleic	C14:1n-5	1,08	0,93	0,82	0,91	0,08	0,72	0,12
Palmitoleic	C16:1n-7	4,17	3,70	4,04	3,92	0,77	0,14	0,39
Oleic	C18:1n-9	40,89	37,51	42,34	42,48	<0,01	0,15	0,09
Cis-Octadecenoic Acid	C18:1	2,65	2,73	2,64	2,83	0,73	0,34	0,69
Trans-Octadecenoic Acid	C18:1	1,34	1,81	1,02	1,93	0,58	<0,01	0,19
Polyunsaturated fatty acids								
Rumenic Acid – CLA	C18:2n-7	3,23	4,19	3,06	2,78	0,11	0,60	0,20
α-Linolenic	C18:3n-3	0,46	0,51	0,44	0,37	0,06	0,89	0,15
Arachdonic	C20:4n-6	0,91	1,30	1,05	0,67	0,28	0,99	0,12
Eicosanoic	C20:5n-3	0,12	0,28	0,28	0,17	0,75	0,82	0,12
Docopentanoic	C22:5n-3	0,45	0,64	0,59	0,38	0,58	0,91	0,12

CON = control diet; YG = Yellow grease diet; Significant at 5% (Tukey test).

Table 5 - Sum and ratios of fatty acids in the *Longissimus dorsi* muscle of Nellore and crossbred (Nellore x Angus) heifers finished in confinement receiving yellow grease in the diet.

Indicator	Nellore		Crossbred		P-Value		
	CON	YG	CON	YG	Genotype	Diet	G*D
Σ Saturated (%)	43,26	42,12	41,63	42,17	0,45	0,77	0,40
Σ Unsaturated (%)	56,67	57,81	58,32	57,82	0,42	0,75	0,41
Σ Monounsaturated (%)	50,94	50,03	52,06	52,98	0,06	0,92	0,39
Σ Polyunsaturated (%)	5,74	7,07	5,84	4,84	0,23	0,99	0,17
Σ n-3 (%)	0,75	0,92	0,83	0,61	0,33	0,85	0,16
Σ n-6 (%)	4,54	5,70	4,41	3,84	0,15	0,77	0,19
n-6/n-3	6,00	6,75	5,42	6,19	0,07	0,01	0,98
$\Delta 9$ desaturase 16	14,95	13,12	14,53	13,73	0,76	0,01	0,30
$\Delta 9$ desaturase 18	76,47	74,53	75,28	77,36	0,64	0,95	0,30
Elongase	67,05	66,92	67,14	68,23	0,32	0,53	0,43
Atherogenicity	0,68	0,67	0,65	0,63	0,25	0,70	0,92
Thrombogenicity	1,48	1,51	1,40	1,40	0,82	0,85	0,82

CON = control diet; YG = Yellow grease diet; Significant at 5% (Tukey test).

CAPÍTULO 3- ARTIGO 2

Emissões de óxido nitroso em sistemas de confinamento: efeitos do genótipo e da dieta nos fluxos de N₂O provenientes da decomposição das excretas de novilhas da raça Nelore e cruzamento industrial (Nelore x Angus)

Rosimeire Pereira da Silva, Leandro Sâmia Lopes, Ramon Costa Alvarenga, Bruno José Rodrigues Alves, Mônica Matoso Campanha, Tânia Dayana do Carmo, Lucas Freires de Abreu, Fernando Antônio de Souza, Ângela Maria Quintão Lana, Geraldo Balieiro Neto

RESUMO: O presente estudo teve como objetivo quantificar as emissões de óxido nitroso (N₂O) oriundas da decomposição de excretas de novilhas da raça Nelore e de cruzamento industrial (Nelore x Angus), submetidas a dietas contendo óleo de fritura residual. O experimento foi conduzido em um curral de confinamento ausente de animais, utilizando câmaras estáticas para o monitoramento dos fluxos de N₂O durante um período de 90 dias. Foram conduzidos dois ensaios simultâneos: no primeiro, as emissões foram monitoradas sob condições naturais de precipitação; no segundo, foram simulados eventos de chuva (30 mm, distribuídos duas vezes ao dia) em duas datas distintas. Além dos fluxos médios diários, foi estimada a emissão acumulada de N₂O para cada tratamento ao longo do período experimental. Utilizou-se os testes de Friedman para comparar o efeito dos grupos experimentais (Genótipo x Dieta) dentro de cada dia de avaliação. Os maiores fluxos de N₂O ocorreram após a aplicação das excretas ao solo, no dia posterior à ocorrência de precipitação simulada, com picos de emissão imediatamente após eventos naturais de chuva, ressaltando a importância dos fatores ambientais, em especial a umidade do solo, na dinâmica de emissão de N₂O em sistemas de confinamento. Os resultados obtidos demonstram que, nas condições experimentais avaliadas, o genótipo dos animais (Nelore ou cruzado) e a inclusão de óleo residual de fritura na dieta não exerceram influência significativa sobre as emissões de óxido nitroso (N₂O) decorrentes da decomposição de excretas de novilhas em confinamento.

PALAVRAS-CHAVE: óxido nitroso, nelore, gases de efeito estufa, angus, confinamento.

1. INTRODUÇÃO

A urgência e a complexidade das mudanças climáticas vêm se tornando temas centrais nas pautas socioeconômicas e políticas globais. Em um cenário de incontestável aquecimento do planeta, torna-se fundamental discutir o papel da pecuária na emissão de gases de efeito estufa (GEE), principais responsáveis pelo aquecimento da Terra. Estima-se que a atividade pecuária seja responsável por aproximadamente 14% das emissões globais de GEE (IPCC, 2019).

No Brasil, o setor agropecuário é responsável por cerca de 25% das emissões totais de gases de efeito estufa (GEE), sendo a produção de carne bovina a principal fonte, respondendo por 52,2% das emissões provenientes da atividade agropecuária. Em relação à composição dos GEE gerados durante o processo produtivo da carne, o metano (CH_4) destaca-se como o principal gás emitido, representando 71,8% do total, seguido pelo óxido nitroso (N_2O), com 27,9%, e pelo dióxido de carbono (CO_2), com 0,3% (SEEG, 2023). Ressalta-se que o sistema de produção de carne bovina é considerado uma fonte significativa de emissões, principalmente em função do elevado potencial de aquecimento global associado aos principais gases emitidos. O metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) apresentam potenciais de aquecimento global 25 e 298 vezes superiores, respectivamente, ao do dióxido de carbono (CO_2) (IPCC, 2019).

Pelo seu elevado potencial de aquecimento, o N_2O é um gás de efeito estufa altamente relevante, cujas emissões no solo estão relacionadas às entradas de compostos contendo nitrogênio (N) (Klein et al., 2014). Na pecuária, essas entradas incluem fertilizantes, urina e fezes dos animais. Fezes e urina frescas são ricas em nitrogênio e carbono quimicamente reduzidos, fornecendo substratos para a atividade de bactérias autotróficas e heterotróficas. Como consequência, ocorrem mudanças temporárias no pH, na pressão parcial de O_2 e NH_3 , e nas concentrações de NH_4^+ , NO_2^- e NO_3^- , o que pode levar à emissão de N_2O (Mazzetto et al., 2014). Pesquisas com foco na determinação das emissões de N_2O do setor pecuário, em diferentes sistemas de produção são essenciais para o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis. No entanto, ainda há poucos estudos que quantificam essas emissões em sistemas de confinamento.

Ao investigarem a dinâmica do fluxo de N_2O a partir de urina e fezes bovinas durante o período de maior uso do confinamento no Brasil, Maciel et al. (2021) observaram uma forte correlação entre o volume de precipitação e o incremento nas emissões de N_2O no dia subsequente, indicando que as condições climáticas, particularmente a ocorrência de chuvas, exercem influência direta na dinâmica de emissão desse gás em ambientes de confinamento. De forma semelhante, Teixeira et al. (2023) avaliaram as emissões de óxido nitroso (N_2O)

oriundas das excretas de bovinos das raças Nelore e cruzados (Nelore x Angus) mantidos em sistema de confinamento e os resultados demonstraram que os fluxos de N_2O provenientes da urina e das fezes foram semelhantes entre os grupos genéticos avaliados, sendo observados picos expressivos de emissão após eventos pluviométricos. Adicionalmente, as emissões cumulativas de N_2O da urina, quando expressas por quilograma de ganho de peso corporal, foram 22,7% superiores nos animais da raça Nelore.

Com a intensificação crescente da pecuária brasileira nas próximas décadas, é esperado um aumento nas emissões de N_2O , devido à maior excreção de fezes e urina, bem como ao uso intensificado de fertilizantes nitrogenados. Assim, a avaliação das emissões de N_2O oriundas de urina e esterco em sistemas de confinamento pode fornecer informações relevantes sobre a dinâmica desses gases. Esse conhecimento é fundamental para a elaboração de inventários de GEE mais precisos e para a identificação de raças e/ou dietas com menor impacto ambiental em sistemas de confinamento.

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo avaliar as emissões de óxido nítrico provenientes da decomposição de excretas de novilhas da raça Nelore e de cruzamento industrial (Nelore x Angus), mantidas em sistemas de confinamento e alimentadas com dietas contendo óleo de fritura residual.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local do experimento, período experimental e características climáticas

O experimento foi conduzido na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Milho e Sorgo, localizado no município de Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil (19°28'S; 44°15'W, a 732 m altitude). O clima da região é caracterizado como clima subtropical úmido com inverno seco e verão quente e chuvoso (Alvares et al., 2013). Os dados diários de precipitação foram coletados da estação meteorológica da Embrapa Milho e Sorgo, localizada em Sete Lagoas, MG (Fig. 1).

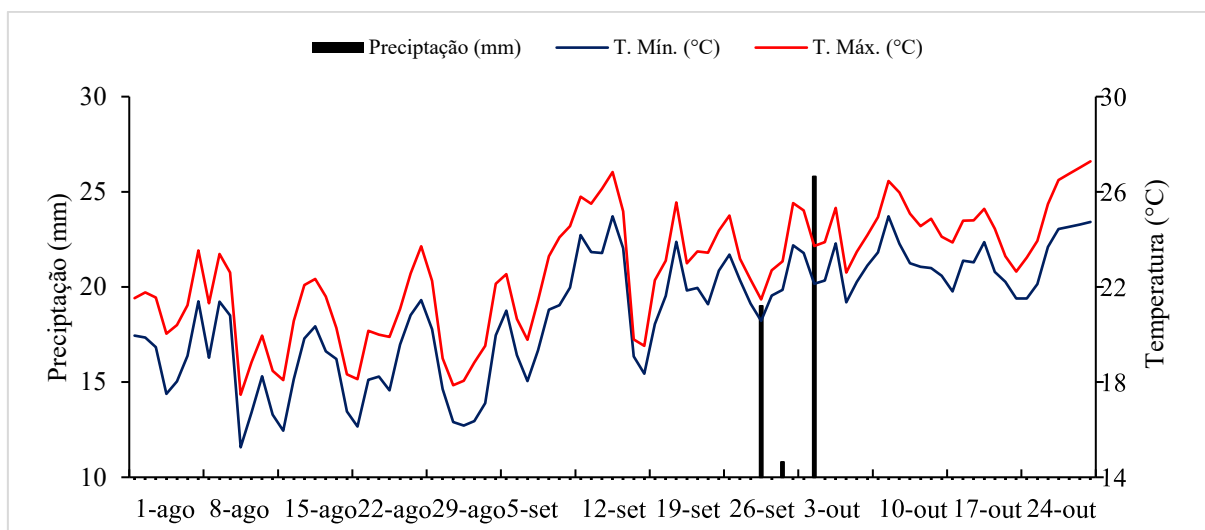


Figura 1- Precipitação (mm), temperatura máxima (Máx.) e mínima (Mín.) atmosférica durante o período de monitoramento das emissões de N₂O em confinamento de novilhas da raça Nelore e cruzamento industrial (Nelore x Angus) recebendo óleo de fritura residual.

O experimento foi realizado de 01/08/2022 a 30/11/2022 totalizando 90 dias de coleta de dados. O Comitê de Ética para Uso de animais (CEUA) da Universidade Federal de Minas Gerais aprovou todos os procedimentos experimentais usados nesta pesquisa (UFMG, protocolo número 160/2022).

2.2. Animais e manejo alimentar

O ensaio consistiu em mensurar o fluxo de N₂O da decomposição de excretas de novilhas de dois grupos genéticos em confinamento recebendo óleo residual de fritura na dieta. O confinamento foi composto por 20 novilhas Nelore com peso vivo inicial médio de $321,0 \pm 42,2$ e 20 novilhas cruzadas (Angus x Nelore) com peso vivo inicial médio de $389,6 \pm 80,6$ totalizando 40 animais com idade média de 15 meses, oriundas do mesmo rebanho e sistema de produção.

Os animais foram alojados em quatro currais coletivos, com dimensões de 20 x 12 metros cada, de acordo com a seguinte divisão: Curral I – novilhas da raça Nelore alimentadas com dieta contendo óleo residual de fritura; Curral II – novilhas da raça Nelore alimentadas com dieta controle; Curral III – novilhas cruzadas (Nelore x Angus) alimentadas com dieta contendo óleo residual de fritura; Curral IV – novilhas cruzadas alimentadas com dieta controle.

Na entrada do confinamento, todos os animais foram submetidos à vermifugação para controle de endo e ectoparasitas. As dietas foram formuladas com uma relação volumoso:concentrado de 50:50, visando um ganho médio diário de 1,3 kg/dia (Tabela 1).

Tabela 1- Composição alimentar e química das dietas experimentais ofertadas para as novilhas durante o confinamento.

Ingredientes (%MS)	CON	ORF
Silagem de sorgo	25,8	25,1
Óleo residual de fritura (ORF)	-	3,5
Milho moído	67,3	66,2
Soja integral moída	3,1	1,3
Ureia	1,2	1,5
Suplemento mineral	2,5	2,4
Composição química (%MS)		
Matéria seca (MS)	62,1	62,5
Matéria mineral (MM)	5,9	5,3
Proteína bruta (PB)	12,3	11,3
Extrato etéreo (EE)	4,2	7,1
Fibra em detergente neutro (FDN)	33,8	30,6
Fibra em detergente ácido (FDA)	14,2	11,7
Nutrientes digestíveis totais (NDT)	71,7	73,5

CON= Dieta controle; ORF = Dieta com óleo residual de fritura

2.3.Instalação do experimento

Um curral com 240 m², à céu aberto, sem presença de animal, foi separado para que o ensaio de medição da emissão de gases de efeito estufa pudesse ser realizado. Foram instaladas 32 bases de câmaras estáticas com dimensões de 60,5 cm de comprimento x 40 cm de largura, inseridas no solo a uma profundidade de 8 cm permanecendo fixadas durante todo o período de mensuração. Em todas as bases das câmaras havia uma canaleta ao redor para encaixe da tampa e vedação da câmara. A tampa da câmara foi coberta por um material isolante para evitar que houvesse grandes diferenças entre as temperaturas interna e externa da câmara (Fig. 2).



Figura 2- Monitoramento das emissões de N₂O em confinamento de novilhas da raça Nelore e cruzamento industrial (Nelore x Angus) recebendo óleo residual de fritura na dieta.

2.4. Formação das parcelas experimentais

Para o monitoramento das emissões de N_2O , foram conduzidos dois ensaios simultâneos no mesmo curral. No primeiro ensaio, a coleta dos gases foi realizada sob condições ambientais naturais, respeitando o regime de precipitação da região. No segundo ensaio, foi realizada simulação de chuva em dois momentos distintos, com o objetivo de representar chuvas esporádicas que possam ocorrer durante o período de confinamento.

No primeiro ensaio (precipitação natural), a coleta de gases foi realizada conforme as condições naturais de umidade do solo. Foram avaliadas, excretas de novilhas dos grupos genéticos Nelore e cruzamento industrial (Nelore x Angus), alimentadas com duas dietas experimentais, em um arranjo fatorial 2x2, totalizando quatro tratamentos com quatro repetições cada. Os tratamentos foram definidos como: NO – excretas de novilhas Nelore alimentadas com dieta contendo óleo de fritura residual; NC – excretas de novilhas Nelore alimentadas com dieta controle; CO – excretas de novilhas cruzadas alimentadas com dieta contendo óleo de fritura residual; e CC – excretas de novilhas cruzadas alimentadas com dieta controle.

No segundo ensaio (precipitação simulada), foi utilizado o mesmo arranjo experimental, com os mesmos substratos do primeiro ensaio. Entretanto, o regime hídrico foi alterado por meio da simulação de chuvas artificiais. As mesmas combinações genéticas e dietéticas foram avaliadas (NO, NC, CO e CC), em delineamento fatorial 2x2 com quatro repetições. A simulação de chuva foi realizada em dois momentos: a primeira cinco dias após a aplicação das excretas, e a segunda, 32 dias após essa aplicação. A simulação consistiu na aplicação de 30 milímetros de água, distribuídos duas vezes ao dia, diretamente dentro das câmaras estáticas, com o auxílio de um regador.

Ambos os ensaios foram conduzidos em delineamento inteiramente ao acaso (DIC), com quatro repetições por tratamento, totalizando 16 parcelas (câmaras) por ensaio. Cada repetição foi composta por excretas provenientes de dois animais, totalizando oito animais por curral. A seleção dos animais para compor cada repetição foi realizada de forma aleatória. As excretas foram coletadas diretamente dos animais: as fezes foram obtidas da ampola retal e a urina, por meio de estimulação manual. Para cada repetição, foram coletados 0,700 kg de fezes e 1,0 L de urina. A coleta de fezes foi realizada durante cinco dias consecutivos, enquanto a coleta de urina estendeu-se por três semanas. As amostras foram armazenadas sob refrigeração a 4 °C durante todo o período de coleta e foram retiradas da refrigeração com, no mínimo, 12 horas de antecedência à aplicação no solo.

2.5. Aplicação das excretas e coleta de dados

Para avaliar a dinâmica da emissão de N_2O por um período de 90 dias, mesma quantidade de dias que as novilhas permaneceram confinadas, excretas foram aplicadas apenas uma vez no início do experimento. As excretas foram aplicadas às câmaras com o auxílio de um aro de PVC de 20 cm de diâmetro colocado no centro da câmara. Primeiro aplicou-se as fezes e em seguida a urina, simulando o comportamento natural do animal. Uma área ao lado da câmara recebeu as mesmas quantidades de materiais que foram colocados dentro da câmara, simulando ambiente igual ao da câmara para permitir a mensuração da temperatura do solo e coleta de amostras de solo para determinação da umidade do solo.

Para determinar a umidade do solo, foram coletadas amostras do solo em latas de alumínio previamente identificadas. Essas amostras foram pesadas e levadas para estufa não ventilada à 105°C por 72h, depois desse período foram retiradas da estufa e pesadas novamente a fim de se obter a umidade do solo. Essa análise foi realizada no laboratório de físico-química do solo da Embrapa Milho e Sorgo. Na figura 3 está apresentada a umidade do solo durante o período de avaliação da emissão dos GEEs e nota-se que o solo apresentou umidade abaixo de 30 % durante todo o período.

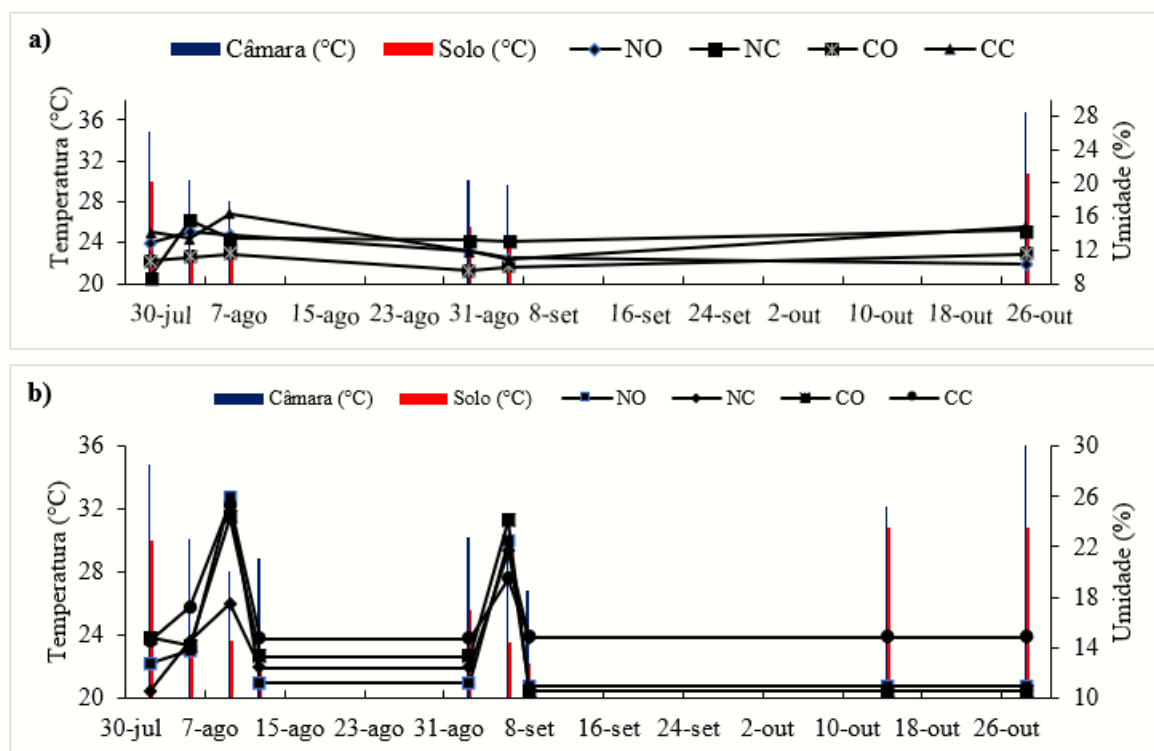


Figura 3- (a; b) - Umidade do solo condições de precipitação natural (a); Umidade do solo em condições de precipitação simulada(b), nos diferentes tratamentos avaliados.

Para a caracterização química do solo na área dos experimentos, foram coletadas, no início do ensaio cinco amostras de solo em pontos aleatórios, dentro do curral. Uma amostra composta foi criada para posterior análise química. A análise química foi realizada pelo Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA). A caracterização química do solo na área do experimento está disposta na Tabela 2.

Tabela 2- Análise química do solo da área onde foi realizado o ensaio

pH*	mg/dm ³		cmol/dm ³						%	
	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC-T	V	m
5,78	23,11	75,31	2,38	0,57	0,36	7,81	3,14	10,95	28,48	12,94

*pH em água: relação 1:2,5; P-K: extrator Mehlich¹; Ca-Mg-Al: extrator KCl¹mol/L; H+Al: Extrator SMP; SB: Soma de Bases Trocáveis; CTC-t: Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC-T: Capacidade de Troca Catiônica Efetiva a pH 7,0; V: Índice de Saturação de Bases; m: Índice de Saturação de Alumínio.

2.6.Coleta do gás e leitura do fluxo de N₂O

Para quantificar o fluxo de N₂O das excretas bovinas depositadas no solo foi utilizada a técnica de câmara estática fechada e a metodologia foi baseada em estudos já desenvolvidos e publicados anteriormente (Saggar et al., 2004a; Luo et al., 2013, 2015; Van Der Weerden et al., 2016; Campanha et al., 2019). A coleta dos gases foi conduzida manualmente em cada câmara. As amostragens foram efetuadas uma vez ao dia, entre 08:00 e 11:00 horas, intervalo considerado representativo do fluxo médio diário de N₂O, conforme indicado por Alves et al. (2012). As amostras foram coletadas com o auxílio de uma seringa de 60 ml acoplada a uma válvula de três entradas, acoplada à tampa da câmara e transferido imediatamente para um vial de 20 ml previamente identificado e evacuado. As amostragens foram realizadas em três intervalos temporais: 0, 30 e 60 minutos após o fechamento da câmara. O cronograma de amostragem adotado foi adaptado da metodologia descrita por De Klein e Harvey (2012).

Para cada ensaio, uma amostragem foi realizada no dia anterior à aplicação dos tratamentos, com o objetivo de caracterizar as emissões naturais de N₂O do solo. Após a aplicação das excretas, as coletas foram realizadas diariamente durante três dias consecutivos, sendo, posteriormente, realizadas com frequência semanal, até 90 dias após a aplicação. Quando ocorreu evento de chuva com precipitação acima de 10 mm em 24h as coletas do gás nas câmaras foram feitas durante três dias consecutivos após a chuva e em seguida voltou-se a coletar uma vez por semana até o fim do experimento. Foi simulado uma chuva de 30 mm, em duas datas diferentes, cinco e 32 dias após a distribuição das excretas no solo, para o ensaio II. Realizou-se uma coleta de gás no dia anterior a simulação de chuva e cinco dias consecutivos

após a simulação de chuva, além das coletas já mencionadas, em ambos os ensaios. Os 30 mm de chuva foram distribuídos 2 vezes ao dia com auxílio de um regador.

As leituras das concentrações de N₂O foram realizadas na Embrapa Agrobiologia, localizada em Seropédica, Rio de Janeiro, por cromatografia gasosa (cromatógrafo Shimadzu GC-2014). As amostras foram injetadas no cromatógrafo por um sistema automatizado (Shimadzu AOC-5000) com capacidade de manipulação de até 96 amostras sequencialmente. Normalmente o aumento e/ou diminuição da concentração de N₂O acontece de forma linear (R²>0,9), por isto o fluxo horário de N₂O foram calculados por regressão linear. Os fluxos foram calculados de acordo com a equação proposta por Barneze et al. (2014).

$$f = \left(\frac{\Delta C}{\Delta t}\right) * \left(\frac{V}{A}\right) * \left(\frac{M}{V_m}\right) * \left(\frac{273}{T+273}\right) (eq. 1).$$

Em que f é o fluxo do gás em µg m⁻² h⁻¹; ΔC é a mudança na concentração do gás na câmara durante período de incubação em µL L⁻¹; Δt é o tempo de incubação em horas; V é o volume da câmara em L; A é a área do solo coberta pela câmara em m²; M é o peso molecular em g mol⁻¹; V_m é o volume molecular (temperatura e pressão padrão [TPP] em L mol⁻¹; e T é a temperatura interna da câmara na amostra de tempo em °C.

2.7. Análise estatística

As análises dos dados experimentais foram realizadas no software de análises estatísticas R (R Core Team, 2022). Para avaliar o efeito dos dias dentro dos grupos experimentais (Genótipo x Dieta) utilizou-se o teste de Friedman (Friedman, 1937) e para comparação dos grupos utilizou-se o teste de Conover (Conover, 1999). Para análise dos dados de emissões acumuladas utilizou-se a metodologia dos modelos lineares generalizados descrita por Pinheiro e Bates (2000), conforme modelo estatístico:

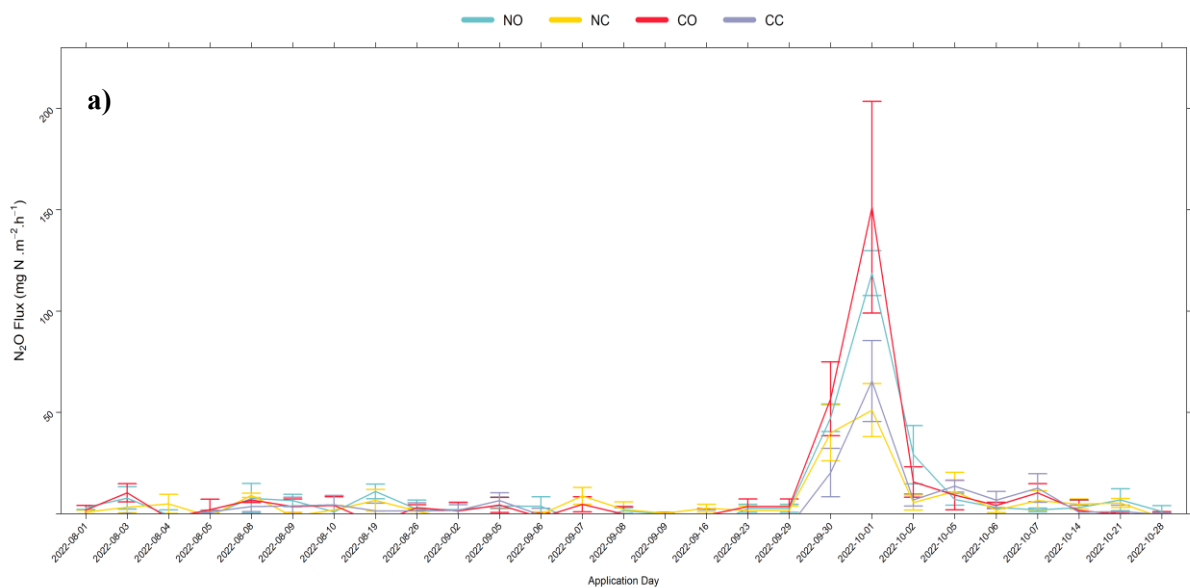
$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (15)$$

onde, Y_{ijk} = É a observação de k-ésima unidade experimental que recebeu o nível j do fator β (Dieta) e nível i do fator α (Genótipo); μ = média geral do experimento; α_i = É o efeito do nível i do fator α (i = Nelore, Cruzado); β_j = É o efeito do nível j do fator β (j = com óleo ou sem óleo); (αβ)_{ij} = Efeito da interação entre fatores α e β; ε_{ijk} = Erro experimental associado à repetição, sendo ε_{ijk} ~ N (μ, σ²).

Os pressupostos estatísticos de normalidade e homoscedasticidade foram avaliados pelos testes de Shapiro-Wilk (Shapiro e Wilk, 1965) e Bartlett (Bartlett, 1937), respectivamente. As médias dos fatores isolados foram comparadas pelo teste F ($P < 0,05$) quando não houve efeito significativo da interação. No caso de ocorrência de interação significativa o teste de Tukey ($p < 0,05$) foi utilizado nas comparações do desdobramento.

3. RESULTADOS

Os resultados indicam que os maiores fluxos de óxido nitroso, expressos em $\mu\text{g N-N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, foram registrados no primeiro dia após a aplicação das excretas ao solo, com aumentos expressivos em períodos coincidentes com eventos de precipitação natural. Esse comportamento foi consistente entre todos os tratamentos avaliados, tanto no experimento com simulação de chuva quanto naquele sem simulação (Figuras 4a e 4b).



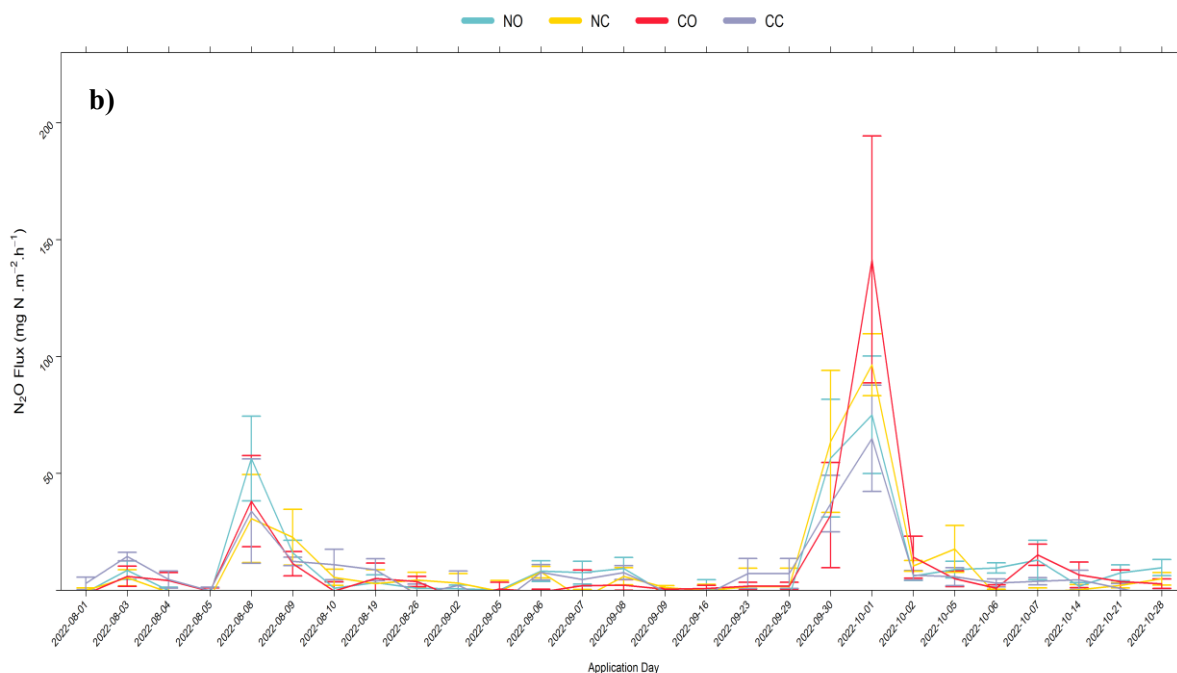


Figura 4- (a; b) Fluxos de N_2O ($\mu g \text{ N-N}_2O/m^2/h^{-1}$) observados ao longo do período de monitoramento em excretas oriundas de novilhas Nelore e cruzadas (Nelore x Angus) em confinamento recebendo óleo de fritura residual

Não foi identificada interação entre o grupo genético e a dieta quanto à emissão acumulada de N_2O resultante da decomposição do esterco de novilhas Nelore e cruzadas (Nelore x Angus), alimentadas com dietas contendo óleo de fritura residual, em sistemas de confinamento, independentemente do regime hídrico avaliado ($P > 0,05$). Da mesma forma, não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos analisados (Tabela 3).

Tabela 3- Emissões acumuladas de óxido nitroso ($mgN-N_2O/m^2$) provenientes da decomposição de esterco de novilhas Nelore e cruzadas (Nelore x Angus) terminadas em confinamento recebendo óleo residual de fritura na dieta.

Item	Nelore		Cruzado		p-Valor		
	CON	ORF	CON	ORF	Genótipo	Dieta	G*D
Precipitação natural	13,80	10,80	13,62	5,10	0,379	0,098	0,407
Precipitação simulada	14,27	14,8	14,55	14,47	0,992	0,931	0,910

CON= Dieta controle; ORF = Dieta com óleo residual de fritura, significativo a 5%.

4. DISCUSSÃO

A magnitude das emissões de N_2O é influenciada por uma complexa interação entre o microclima do solo, a atividade microbiana e a composição das excretas, a qual varia de acordo com o tipo de animal e sua dieta alimentar (Wecking, 2021). No solo, os principais fatores que regulam a produção de N_2O incluem a disponibilidade de oxigênio, temperatura, pH, teor de umidade, salinidade e, no caso da desnitrificação, a presença de carbono orgânico disponível para processos heterotróficos. Além disso, esses fatores são modulados por condições climáticas, cobertura vegetal, propriedades químicas e físicas do solo (densidade aparente, teor de carbono orgânico, pH e teor de argila), bem como pelas práticas de manejo adotadas (Uchida et al., 2011).

Foi realizado a coleta de gás antes de aplicar o substrato solo para caracterizar as imissões que ocorrem naturalmente, sendo possível observar um leve aumento na produção de N_2O após aplicação das excretas (Fig, 4a e 4b). As emissões de óxido nitroso inicialmente altas, após a aplicação das excretas, podem ser explicadas devido a própria deposição das do substrato no solo. Fezes e urina frescas são ricas em nitrogênio (N) e carbono (C) quimicamente reduzidos, fornecendo substratos para a atividade de bactérias autotróficas e heterotróficas (Mazzetto et al., 2005). A disponibilidade de substrato, aliado ao teor de umidade presente nas excretas, principalmente devido a presença de urina proporcionaram condições favoráveis para que houvesse produção de N_2O . De acordo com Barneze et al. (2014), a produção de N_2O associada à deposição de urina em solos secos é explicada principalmente pela indução da nitrificação do NH_4^+ existente na urina, além do novo NH_4^+ formado pela hidrólise da ureia na urina. A nitrificação é favorecida pela presença de NH_4^+ por condições adequadas de aeração do solo e maior ciclagem de nitrogênio no sistema (Davidson et al., 2000).

Nessa pesquisa, os fluxos de N_2O , detectados após a aplicação das excretas, foram relativamente baixos, o que seria típico da nitrificação estimulada pelo solo umedecido, mas longe da saturação do solo. Nota-se que a umidade do solo no começo do experimento foi inferior 30%. A porosidade preenchida por água acima de 60% favorece a formação de micro-sítios de anaerobiose devido à dificuldade de difusão de O_2 , e quando esse preenchimento dos poros está entre 35 e 60% favorecem o processo de nitrificação (Bastos, 2018). Corroborando com esses resultados, Liao et al. (2018), Maciel et al., (2021) e Teixeira et al., (2023) também verificaram um fluxo inicial de N_2O após a aplicação das excretas em pisos simulados de confinamento menor que o fluxo após a ocorrência de fortes chuvas. À medida que o esterco seca, a falta de umidade reduz o impacto dos processos que levam a formação de N_2O .

Em contrapartida, quando ocorreram eventos de precipitação intensa, o fluxo de N_2O

aumentou abruptamente, possivelmente devido à saturação do solo pela água da chuva. O mesmo comportamento foi observado no estudo de Maciel et al. (2021), ao avaliarem a emissão de N_2O a partir de fezes e urina de bovinos Nelore aplicadas em solo de curral de confinamento durante o período de seca. Nesse estudo, foi verificada uma baixa emissão de N_2O , com os maiores picos registrados após três dias de chuvas consecutivas. A produção de N_2O por desnitrificação ocorre na ausência de oxigênio, a umidade do solo e os espaços porosos preenchidos por água têm sido enfatizados por sua influência específica nos fluxos de GEE do solo (Smith et al., 2018).

A desnitrificação é o processo dominante na produção de N_2O , enquanto a nitrificação gera, relativamente, mais NO do que N_2O (Davidson et al., 1993). As emissões de óxido nitroso, portanto, tendem a ser maiores em solos úmidos e, após períodos de seca, a produção de N_2O inicia-se imediatamente após a aplicação de água no solo (Chirinda et al., 2019). Esse comportamento pode ser observado no ensaio com precipitação simulada, além dos picos de emissão associados às chuvas naturais, que possivelmente elevaram o grau de saturação do solo, favorecendo o processo de desnitrificação, resultando em aumentando abrupto das emissões de N_2O , também foram observados aumentos nos fluxos de N_2O nos dias subsequentes à aplicação da simulação, reforçando o papel da umidade do solo como fator determinante na intensificação das emissões de N_2O , seja por meio do processo de nitrificação, ou desnitrificação (Fig. 4b).

Os dados corroboram com o estudo de Sun et al. (2016), ao medirem os fluxos de emissão de N_2O da superfície do curral de confinamento relataram que a umidade da superfície do curral foi principal motivo para as flutuações das emissões de N_2O , uma vez que elas são correlacionadas com eventos de chuva, e relataram que durante a maior parte do experimento as emissões de N_2O se mantiveram baixas, podendo ser atribuídas ao fato de a superfície do curral estar seca, o que limita tanto a nitrificação, quanto a desnitrificação.

As Figuras 4a e 4b também demonstram que, na maior parte do período de monitoramento, os fluxos de N_2O mantiveram-se abaixo ou próximos do nível basal. Esse padrão é compatível com os resultados de Lessa et al. (2014), que relataram emissões de N_2O próximas de zero durante a estação seca. Resultados semelhantes foram observados por Maciel et al. (2021) e por Teixeira et al. (2023), em estudo conduzido em confinamento, ambos também durante o período seco. Embora os solos, normalmente, sejam considerados como fonte de N_2O atmosférico, eles também podem atuar como sumidouros, ainda que temporariamente, para este gás.

Os valores negativos encontrados para o fluxo de emissão do N_2O , pode ser devido ao consumo desse gás pelo solo. Já há algum tempo que o processo de consumo de N_2O pelo solo

tem sido reconhecido, entretanto as taxas de produção, normalmente, são maiores que as taxas de consumo o que leva a maioria dos pesquisadores a se concentrar na produção do N_2O e negligenciar a possibilidade de seu consumo (Chapuis-Lardy et al., 2007). O autor destaca que eficiência do sumidouro depende do potencial de redução do N_2O a N_2 , da facilidade de difusão do N_2O no perfil do solo e da dissolução na água presente no solo.

A emissão acumulada N_2O foi semelhante estatisticamente para genótipo assim como para a dieta (Tabela 1). A ausência de efeito do genótipo sobre a emissão de N_2O , corrobora com os resultados de Teixeira et al. (2023), que observaram resultados semelhantes ao avaliarem bovinos Nelore e cruzados (Nelore x Angus) sob as mesmas condições experimentais. Esses resultados reforçam a similaridade entre bovinos da raça Nelore e animais provenientes de cruzamentos industriais (Nelore x Angus) quanto à produção e emissão de óxido nitroso em sistemas de confinamento. No entanto, Teixeira et al. (2023) verificaram que, ao considerar as emissões totais de N_2O do esterco por animal ao longo de um período de 35 dias, os valores foram 22,7% ($P = 0,017$) e 19,6% ($P = 0,034$) superiores nos animais da raça Nelore, provavelmente em função do maior ganho de peso corporal e da maior eficiência alimentar observados nos bovinos mestiços, concluindo que animais cruzados emitam menos por quilo de ganho de peso corporal do que a raça Nelore. Segundo Terry et al. (2021) quando se há uma melhoria da eficiência de produção, consequentemente é proporcionado uma redução no impacto ambiental em decorrência da melhoria na eficiência produtiva.

A dieta consumida pelos animais não teve efeito significativo nas emissões de N_2O , o que pode ser atribuído à similaridade na composição química das dietas, principalmente, em relação a quantidade de proteína bruta (PB) ofertada (12,3% dieta CON vs. 11,3% dieta ORF; Tabela 1). As taxas de excreção de nitrogênio que afetam a emissão N_2O do esterco, são baseados no consumo de matéria seca (CMS) e seu conteúdo de N (Vergé et al., 2012). Portanto, a manipulação da dieta para otimizar o consumo de proteína e, assim, melhorar a eficiência da utilização de N, é uma das medidas mais eficazes para reduzir as emissões de N_2O da decomposição de excretas (Novak e Fiorelli, 2010). Nesse estudo, foi utilizado aproximadamente a mesma proporção de PB e mesma fonte de proteína, em dietas formuladas um ganho médio de 1,3 kg/dia o que pode ter contribuídos para emissões semelhantes estatisticamente entre os tratamentos.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que, nas condições experimentais avaliadas, o genótipo dos animais (Nelore ou cruzado) e a inclusão de óleo residual de fritura na dieta não

exerceram influência significativa sobre as emissões de óxido nitroso (N₂O) decorrentes da decomposição de excretas de novilhas em confinamento. Em contraste, verificou-se que os eventos de precipitação, naturais ou simulados, constituíram os principais fatores associados ao aumento nos fluxos de N₂O, evidenciando a umidade do solo como variável determinante na dinâmica de emissão desse gás de efeito estufa. Esses resultados reforçam a relevância de fatores ambientais, especialmente os relacionados ao regime hídrico, na formulação de estratégias de mitigação das emissões de N₂O em sistemas de produção intensiva.

6. REFERÊNCIAS

ABIEC, 2024. Beef Report 2024. Brazilian Beef Exporters Association. URL <https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2024-perfil-da-pecuaria-no-brasil/>

Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

Barneze, A.S., Mazzetto, A.M., Zani, C.F., Misselbrook, T., Cerri, C.C., 2014. Nitrous oxide emissions from soil due to urine deposition by grazing cattle in Brazil. *Atmos. Environ.* 92, 394–397. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.04.046>.

Barneze, A.S., Minet, E.P., Cerri, C.C., and Misselbrook, T., 2015. The effect of nitrification inhibitors on nitrous oxide emissions from cattle urine depositions to grassland under summer conditions in the UK. *Chemosphere* 119, 122–129. [https://doi: 10.1016/j.chemosphere.2014.06.002](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.06.002).

Bastos, D.F., 2018. Emissão de óxido nitroso da urina e fezes de bovinos e ovinos em sistemas pecuários extensivos. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Chirinda, N., Loaiza, S., Arenas, L., Ruiz, V., Faverín, C., Alvarez, C., et al., 2019. Adequate vegetative cover decreases nitrous oxide emissions from cattle urine deposited in grazed pastures under rainy season conditions. *Sci. Rep.* 9:908. doi: 10.1038/s41598-018-37453-2.

Chapuis-lardy, L., Wrage, N., Metay, A., Chotte, J. L., and Bernoux, M., 2007. Soils, a sink for N₂O? a review. *Glob. Change Biol.* 13, 1–17. doi: 10.1111/j.1365-2486.2006.01280.x

IPCC, 2019. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland. 2019.

De Klein, C.A.M., Harvey, M., 2012. Nitrous oxide chamber methodology guidelines. Global research Alliance on agricultural greenhouse gases. In: Ministry for Primary Industries. Wellington, New Zealand.

Maciel, I.C. de F., Barbosa, F.A., Tomich, T.R., Ribeiro, L.G.P., Alvarenga, R.C., Lopes, L.S., Malacco, M.R., Rowntree, J.E., Thompson, L.R., Lana, Â.M.Q., 2019. Could the breed composition improve performance and change the enteric methane emissions from beef cattle in a tropical intensive production system? *PloS One*, v.14, e0220247. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220247>.

Maciel, I.C.F., Barbosa, F.A., Alves, B.J.R., Alvarenga, R.C., Tomich, T.R., Campanha, M.M., Rowntree, J.E., Alves, F.C., Lana, Â.M.Q., 2021. Nitrous oxide and methane emissions from beef cattle excreta deposited on feedlot pen surface in tropical conditions. *Agricultural Systems*, v.187, art.102995. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102995>.

Mazzetto, A.M., Barneze, A.S., Feigl, B.J. J., Van Groenigen, W., Oenema, O., and Cerri. C. C., 2014. Temperature and moisture affect methane and nitrous oxide emission from bovine manure patches in tropical conditions. *Soil Biol. Biochem.* 76:242–248. doi:10.1016/j.soilbio.2014.05.026

Novak, S. M., and Fiorelli, J. L., 2010. Greenhouse gases and ammonia emissions from organic mixed crop-dairy systems: a critical review of mitigation options. *Agron. Sustain. Dev.* 30, 215–236. doi: 10.1051/agro/2009031.

Oliveira, A.F., Martins, E.C., Alvarenga. R.C., Campanha, M.M., Alves. B.J.R., Oliveira, L.G., Lana, A.M.Q., 2025. Methane and nitrous oxide emissions from excreta of different beef cattle

breeds fed with different concentrate:roughage ratios and finished in feedlots under tropical conditions. *Livestock Science*. 296. 105694.

R Core Team, 2022 R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria
R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <https://www.R-project.org/>

SEEG, 2023. Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa.2023. Estimativa de emissões de gases de efeito estufa dos sistemas alimentares no Brasil. Observatório do Clima. Disponível em: <http://seeg.eco.br/>.

Smith, K.A., Ball, T., Conen, F., Dobbie, K.E., Massheder, J., Rey, A., 2018. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. *Eur. J. Soil Sci.* 69, 10–20. <https://doi.org/10.1111/ejss.12539>.

Teixeira, P.D., Schoonmaker, J.P., Carvalho, J.R.R.D., Oliveira, C.V.R.D., Rodrigues, A.D.C., Santos, L.R.D., Ladeira, M.M., 2023. Fatty acid profile and beef quality of Nellore and Angus bulls fed whole shelled corn. *Scientia Agricola*, 79. doi.org/10.1590/1678-992X-2020-0273.

Terry, S.A et al., 2021. Strategies to improve the efficiency of beef cattle production. *Revista Canadian Journal of Animal Science*. v.101, n.1, p.1-19. <https://doi.org/10.1139/cjas-2020-0022>.

Uchida, Y., Clough, T.J., Kelliher, F.M., Hunt, J.E., and Sherlock, R.R., 2011. Effects of bovine urine, plants and temperature on N₂O and CO₂ emissions from a sub-tropical soil. *Plant Soil* 345, 171–186.[doi: 10.1007/s11104-011-0769-z](https://doi.org/10.1007/s11104-011-0769-z).

Vergé, X.P.C., Dyer, J.A., Worth, D.E., Smith, W.N., Desjardins, R.L., and McConkey, B.G., 2012. A greenhouse gas and soil carbon model for estimating the carbon footprint of livestock production in Canada. *Animals* 2, 437–454. [doi: 10.3390/ani2030437](https://doi.org/10.3390/ani2030437).

Wecking., A.R., 2021. Paddock Scale Nitrous Oxide Emissions from Intensively Grazed Pasture: Quantification and Mitigation. [dissertation/PhD's thesis]. [Auckland (New Zealand)]: The University of Waikato.