



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

CIBELI DE ALMEIDA PEDRINI

UTILIZAÇÃO DE BOVAER® (3-NITROOXIPROPANOL) EM DIETAS PARA
BOVINOS CONFINADOS

Dourados - MS

Março - 2024

CIBELI DE ALMEIDA PEDRINI

**UTILIZAÇÃO DE BOVAER® (3-NITROOXIPROPANOL) EM DIETAS PARA
BOVINOS CONFINADOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia: Produção Animal, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Jefferson Rodrigues Gandra

Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Rodrigo Mendes Fernandes

Dourados - MS

Março – 2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

P372u Pedrini, Cibeli De Almeida
UTILIZAÇÃO DE BOVAER® (3-NITROOXIPROPANOL) EM DIETAS PARA BOVINOS
CONFINADOS [recurso eletrônico] / Cibeli De Almeida Pedrini. -- 2024.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Jefferson Rodrigues Gandra.
Coorientador: Alexandre Rodrigo Mendes Fernandes.
Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2024.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. gases de efeito estufa. 2. qualidade de carne. 3. sustentabilidade. I. Gandra, Jefferson Rodrigues. II. Fernandes, Alexandre Rodrigo Mendes. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

UTILIZAÇÃO DE BOVAER® (3-NITROOXIPROPANOL) EM DIETAS PARA BOVINOS CONFINADOS

por

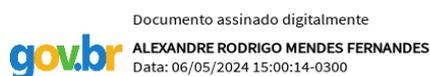
CIBELI DE ALMEIDA PEDRINI

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de MESTRE(A) EM ZOOTECNIA

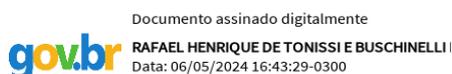
Aprovado em: 08/03/2024


Documento assinado digitalmente
gov.br JEFFERSON RODRIGUES GANDRA
Data: 06/05/2024 15:16:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

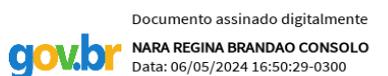
Dr. Jefferson Rodrigues Gandra
Orientador(a) – UNIFESSPA


Documento assinado digitalmente
gov.br ALEXANDRE RODRIGO MENDES FERNANDES
Data: 06/05/2024 15:00:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Alexandre Rodrigo Mendes Fernandes
Co-orientador(a) - UFGD


Documento assinado digitalmente
gov.br RAFAEL HENRIQUE DE TONISSI E BUSCHINELLI
Data: 06/05/2024 16:43:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Rafel Henrique de Tonissi & Buschinelli Goes
UFGD


Documento assinado digitalmente
gov.br NARA REGINA BRANDAO CONSOLO
Data: 06/05/2024 16:50:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr^a. Nara Regina Brandão Consolo
USP

*Dedico esta conquista a minha amada mãe,
Mara dos Santos Almeida Pedrini
(In Memoriam).*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e me dar forças para não desistir e correr atrás dos meus objetivos.

A minha família, pelo amor e por todo apoio e incentivo durante a minha jornada, ao meu Pai Antônio Pedrini por estar sempre ao meu lado, á minha irmã Nathaly pelo companheirismo, amor e carinho, e ser essencial em minha caminhada, á minha Mãe, que mesmo não estando aqui presencialmente, é e sempre será meu anjo e guia.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Jefferson Gandra, pelo apoio, atenção e confiança, mas principalmente pela amizade e me receber como família durante tantos anos de orientação.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Alexandre Fernandes por todos ensinamentos, atenção e paciência durante o mestrado, mas agradeço especialmente pela confiança e apoio.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, em especial ao Prof. Dr. Mábio Silvan, Dr. Euclides Oliveira, Dr. Leonardo Seno e Dr. Rafael Goes, pelos ensinamentos repassados.

Ao meu amigo e parceiro de mestrado Fábio, pela parceria e amizade de anos, e aos amigos da pós-graduação, mas especialmente a Gleice, Giuliano, Phaena, Douglas, Fernanda e Adriana pela ajuda e pela alegria nos meus dias mais cheios e cansativos.

Aos meus amigos que perto ou longe estão sempre junto comigo, compartilhando momentos de amizade e amor, e apesar da rotina do dia-a-dia jamais deixam de ser amigos de verdade, dentre eles, a Bruna, Ester, Rangel e Bruno, obrigada por me ouvirem e acompanharem durante todas as fases e por sempre me incentivar.

Ao pessoal da fazenda Caçadinha, do Centro experimental da dsm-firmenich e todos que ajudaram durante o experimento a campo, agradeço pela oportunidade e confiança, em especial ao Alexandre Perdigão, Josivaldo, Osnei, Maria e Emanuelle por toda ajuda e companheirismo durante a execução do experimento, e á Tacyana por toda ajuda e ser a melhor estagiária que poderíamos ter, ao Artur e a Karol, pelo apoio, ajuda e tornarem meus dias mais leves e divertidos.

A Universidade Federal da Grande Dourados, pela oportunidade de realização do curso de Mestrado.

A CAPES, pela oportunidade e financiamento deste trabalho.

Enfim, a todos que ajudaram mesmo que indiretamente para que esse trabalho fosse concluído, meus mais sinceros agradecimentos.

Muito obrigada!

“Mas os que esperam no Senhor renovarão as forças, subirão com asas como águias; correrão, e não se cansarão; caminharão, e não se fatigarão.”

Isaiás 40:31

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	15
2.OBJETIVO.....	17
2.1.Objetivo geral	17
2.2.Objetivo Específico	17
3.REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1. Setor pecuário	17
3.2. Terminação de bovinos em confinamento	19
3.3.Gases de efeito estufa e a produção de carne	22
3.4. Mecanismo de ação da 3-Nitrooxypropanol	24
3.5. Resultados e aplicação da 3-Nitrooxypropanol em ruminantes	26
4.MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
4.1.Local, animais e dieta	30
4.2.Consumo e desempenho	31
4.3.Comportamento ingestivo	32
4.4.Abate e qualidade da carne	32
4.5.Perfil de ácidos graxos da carne	33
4.6. Coleta de Metano	34
4.7.Análises estatísticas	35
5.RESULTADOS.....	35
5.1.Desempenho animal	35
5.2.Comportamento ingestivo	36
5.3. Emissão de metano	40
5.4.Qualidade e composição química da carne	40
6. DISCUSSÃO.....	44
7.CONCLUSÃO.....	50
REFERÊNCIAS.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3-NOP – 3-nitrooxipropanol

a* - Vermelho

AG – Ácidos graxos

AGCI – Ácidos graxos de cadeia ímpar

AGS – Ácidos graxos saturados

AGI – Ácidos graxos insaturados

AGMI – Ácidos graxos monoinsaturados

AGPI – Ácidos graxos poliinsaturados

AGVs – Ácidos graxos voláteis

ATP – Adenosina trifosfato

b* - Amarelo

CH₄ – Metano entérico

CLA – Ácido linoleico conjugado

CMS – Consumo de matéria seca

CO₂ – Dióxido de carbono

CRA – Capacidade de retenção de água

EE- Extrato etéreo

FC – Força de cisalhamento

FDA – Fibra em detergente ácido

FDN - Fibra em detergente neutro

G:A – Ganho:Alimentação

GDC- Ganho diário de carcaça

GF – Greenfeed

GMC- Ganho médio de carcaça

GMD- Ganho médio diário

GPD- Ganho de peso diário

GEE- Gases de efeito estufa

H₂- Hidrogênio

IMS – Ingestão de matéria seca

L* - Luminosidade
MCR – Metil coenzima M redutase
MS – Matéria seca
MO – Matéria Orgânica
MTM – Milhões de toneladas métricas
PAG – Potencial de aquecimento global
PCQ – Peso de carcaça quente
PF – Peso final
PH– Potencial hidrogeniônico
PB- Proteína bruta
PC – Perda por cozimento
PV – Peso vivo
RC – Rendimento de carcaça
RLM – Ração de lucro máximo (Software)
TEC – Tonelada equivalente de carcaça

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Ingredientes e composição nutricional das dietas experimentais.....	30
Tabela 2- Desempenho produtivo e eficiência biológica de acordo com os tratamentos experimentais.....	35
Tabela 3- Comportamento ingestivo de acordo com os tratamentos experimentais.....	36
Tabela 4- Emissão de metano de acordo com os tratamentos experimentais.....	39
Tabela 5- Qualidade e composição química da carne de acordo com os tratamentos experimentais.....	40
Tabela 6- Perfil individual de ácidos graxos da carne de acordo com os tratamentos experimentais.....	41
Tabela 7 - Somatório, relações, atividade enzimática e índices do perfil de ácidos graxos da carne de acordo com os tratamentos experimentais.....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Tempo de consumo (min/kg MS) de acordo com os tratamentos experimentais ao longo do período experimental.....	37
Figura 2- Visitas ao cocho (n) de acordo com os tratamentos experimentais ao longo do período experimental.....	38
Figura 3- Consumo de matéria seca (min/kg) de acordo com os tratamentos experimentais ao longo do período experimental.....	38
Figura 4- Consumo de matéria seca (kg/visita ao cocho) de acordo com os tratamentos experimentais ao longo do período experimental.....	39

RESUMO

PEDRINI, Cibeli de Almeida. Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados MS, dezembro de 2023. Utilização de Bovaer® (3-nitrooxipropanol) em dietas para bovinos confinados. Orientador: Dr. Jefferson Rodrigues Gandra; Co-orientador: Dr. Alexandre Rodrigo Mendes Fernandes.

O objetivo desse trabalho foi avaliar os efeitos do 3-nitrooxipropanol (3-NOP, Bovaer, DSM Nutritional Products) em diferentes níveis em dietas para bovinos de corte confinados sobre o desempenho produtivo, eficiência biológica e emissões de metano (CH₄). Trinta tourinhos Nelore com peso médio de 407 ± 6 kg foram distribuídos aleatoriamente em três tratamentos com dez repetições (animal) por tratamento. Os animais foram alimentados com uma dieta de alto concentrado por 86 dias, de acordo com os três tratamentos: 1) 0, Controle (sem adição de 3-NOP); 2) BV75 (75 mg/kg MS de 3-NOP), 3) BV100 (100 mg/kg MS de 3-NOP). As emissões de gases (CH₄ e H₂) foram avaliadas individualmente por meio da unidade GreenFeed (C-Lock, EUA), enquanto as variáveis de consumo de matéria seca (CMS) foram avaliadas por meio de alimentadores digitais (Sistema Intergado, Brasil). Os pesos corporais dos animais foram registrados após jejum de 12 horas no início e no final do experimento. Os dados foram submetidos à análise do PROC MIXED do SAS 9.4, avaliados por contrastes ortogonais, com nível de significância de 5%. O PV inicial foi utilizado como covariável quando significativo para ajuste do modelo estatístico. Não foram observadas diferenças no CMS (kg/d e %PV) entre os animais controle e os alimentados com 3-NOP. Animais alimentados com BV75 tiveram maior GMD que controle e BV100, (1,73 vs. 1,63 e 1,60 kg/d, respectivamente) e melhor eficiência biológica que controle (127,0 vs 135,3 kg IMS/PV de carcaça produzido). Resultado semelhante foi observado para ganho de carcaça, em que os animais suplementados com BV75 tiveram maiores ganhos que o controle. Os animais alimentados com 75 e 100 mg/kg de MS de 3-NOP emitiram respectivamente 33,7% e 42,7% menos metano (g/d) em comparação com o controle, e adicionalmente produziram mais hidrogênio vs. controle. Houve reduções significativas na produção de metano medida em relação ao CMS (CH₄: CMS) e intensidade de metano (CH₄/GMD) para animais alimentados com os dois níveis de 3-NOP, em comparação com o controle, como também uma diferença significativa na redução de CH₄ em relação à eficiência biológica para os animais alimentados com 3-NOP. Foram observadas diferenças no pH, CRA, FC e teor de gordura da carne dos grupos com inclusão de 3-NOP em comparação com o controle, o 3-NOP também foi significativo para a composição lipídica, apresentando maior concentração dos ácidos graxos da carne para C14:1, C16:1, C17:1, C18:2 CLA, C18:3 ω3 e C20:1. Concluímos que a alimentação com 3-NOP reduz consistentemente a emissão de metano de bovinos confinados, nos quais a intensidade da redução aumentou ao longo das dosagens avaliadas no presente estudo, sem prejudicar o desempenho animal e a qualidade de carne.

Palavras-chaves: gases de efeito estufa, qualidade de carne, sustentabilidade.

ABSTRACT

PEDRINI, Cibeli de Almeida. Federal University of Grande Dourados, Dourados MS, December 2023. Use of Bovaer® (3-nitrooxypropanol) in diets for confined cattle. Advisor: Dr. Jefferson Rodrigues Gandra; Co-supervisor: Dr. Alexandre Rodrigo Mendes Fernandes.

The objective of this work was to evaluate the effects of 3-nitrooxypropanol (3-NOP, Bovaer, DSM Nutritional Products) at different levels in diets for confined beef cattle on productive performance, biological efficiency and methane (CH₄) emissions. Thirty Nellore bulls with an average weight of 407 ± 6 kg were randomly distributed into three treatments with ten replicates (animal) per treatment. The animals were fed a high-concentrate diet for 86 days, according to the three treatments: 1) 0, Control (without addition of 3-NOP); 2) BV75 (75 mg/kg DM of 3-NOP), 3) BV100 (100 mg/kg DM of 3-NOP). Gas emissions (CH₄ and H₂) were evaluated individually using the GreenFeed unit (C-Lock, USA), while dry matter consumption variables (DMI) were evaluated using digital feeders (Sistema Intergado, Brazil). The animals' body weights were recorded after a 12-hour fast at the beginning and end of the experiment. The data were subjected to PROC MIXED analysis of SAS 9.4, evaluated by orthogonal contrasts, with a significance level of 5%. The initial PV was used as a covariate when significant for adjusting the statistical model. No differences were observed in DMI (kg/d and %LW) between control animals and those fed with 3-NOP. Animals fed with BV75 had higher ADG than control and BV100, (1.73 vs. 1.63 and 1.60 kg/d, respectively) and better biological efficiency than control (127.0 vs. 135.3 kg IMS/BV of carcass produced). A similar result was observed for carcass gain, in which animals supplemented with BV75 had greater gains than the control. Animals fed with 75 and 100 mg/kg of 3-NOP MS emitted respectively 33.7% and 42.7% less methane (g/d) compared to control, and additionally produced more hydrogen vs. control. There were significant reductions in methane production measured in relation to DMI (CH₄: DMI) and methane intensity (CH₄/GMD) for animals fed both levels of 3-NOP, compared to the control, as well as a significant difference in CH₄ reduction in relation to biological efficiency for animals fed with 3-NOP. Differences were observed in pH, WHC, FC and fat content of the meat in the groups with 3-NOP inclusion compared to the control, 3-NOP was also significant for the lipid composition, presenting higher concentration of meat fatty acids for C14:1, C16:1, C17:1, C18:2 CLA, C18:3 ω₃ and C20:1. We concluded that feeding 3-NOP consistently reduces methane emissions from confined cattle, in which the intensity of the reduction increased over the dosages evaluated in the present study, without harming animal performance and meat quality.

Keywords: greenhouse gases, meat quality, sustainability.

1.INTRODUÇÃO

O interesse sobre a produção mundial de alimentos têm aumentado, principalmente na última década, em decorrência do aumento da população mundial, assim como, pela atenção que o setor vem tendo e a necessidade de ampliar essa produção de forma sustentável. Segundo a FAO (2022) a produção mundial de carne, atingiu 337 milhões de toneladas em 2020, tendo um aumento de 45% em comparação com 2000, sendo a avicultura de corte, suinocultura e a bovinocultura de corte responsáveis por quase 90% desse valor no período. Em 2023, há previsões de que a produção de bovinos somente no Brasil crescerá 1,3%, resultando em quase 49 milhões de cabeças de gado bovino (USDA, 2023).

A produção de carne bovina tem grande importância no cenário econômico brasileiro, essa produção que vem há muitos anos em um crescimento constante de tecnologia e inovação, que acompanham os números de abate e exportação. Inicialmente a pecuária brasileira era caracterizada por ser uma pecuária extrativista e de pouco uso de tecnologia, porém a partir da década de 1990 os sistemas de criação de bovinos começaram a se modificar e buscar formar de melhorar o desempenho e os índices produtivos, e atualmente com os avanços da tecnologia e novas estratégias de produção muito se fala da melhora na produtividade de maneira geral, podendo se expandir ainda mais com a intensificação das áreas já existentes. Desde a década de 1990, a cadeia produtiva da pecuária de corte brasileira passou por uma modernização tecnológica em seus sistemas de produção e organização, resultando em maior produtividade, melhor qualidade da carne e maior competitividade (MALAFAIA et al., 2021), segundo Monteiro et al. (2022) a intensificação dos sistemas de produção de bovinos de corte no Brasil, incluindo confinamentos na fase de terminação, levou a reduções consideráveis na idade de abate e nos maiores pesos de abate.

A utilização de confinamentos se destacou muito nos últimos anos, os sistemas de produção de bovinos confinados permitem um controle maior de sanidade, gestão de dados, maior rotação de animais, melhores índices zootécnicos e estratégias nutricionais, porém, existem gastos com estrutura, maquinários, ferramentas de inovação, dieta, entre outros, entretanto os produtos finais podem possuir melhor qualidade e características que proporcionam ao consumidor um alimento mais macio, suculento e de qualidade. A

produção de carne bovina de alta qualidade e a redução de riscos à saúde humana são objetivos da indústria da carne bovina para satisfazer as demandas dos consumidores e aumentar as vendas (TEIXEIRA et al., 2022), além da preocupação com a sustentabilidade dentro dos sistemas de produção, que é exigido pelos consumidores constantemente. Os ruminantes foram responsáveis por mais de quatro vezes as emissões dos monogástricos e a maior parte disso ocorre na forma de eructação de metano, que é um subproduto da fermentação microbiana no rúmen, particularmente de fibra (GILL; GARNSWORTHY; WILKINSON, 2021), a necessidade de reduzir as emissões do setor e a os impactos ambientais ocasionados, tornou-se de fato, cada vez mais iminente tendo em conta a sua expansão contínua para garantir a segurança alimentar, e alimentar uma população mundial crescente, mais rica e mais urbanizada (GERBER et al., 2013).

Possíveis intervenções para reduzir as emissões são, portanto, em grande medida, baseadas em tecnologias e práticas que melhoram a eficiência da produção a nível animal e de rebanho (GERBER et al., 2013), existem opções nutricionais que podem auxiliar n processo, incluindo pastoreio, forrageamento, aditivos e suplementação nutricional estratégica apropriada para classes específicas de gado, alguns aditivos alimentares podem ser considerados na formulação de dietas para gado bovino com o objetivo de reduzir a metanogênese ruminal (PULINA et al., 2021), esses vão desde produtos naturais como óleos, algas, taninos ou saponinas, até nitratos e ionóforos.

Dentre muitos aditivos que foram e têm sido testados, a molécula de 3-nitrooxipropanol (3-NOP; DSM Nutritional Products, Kaiseraugst, Suíça), comercialmente disponibilizada como Bovaer[®], o 3-NOP inibe as emissões de metano entérico dos ruminantes através da inativação específica da enzima pela metil-coenzima M redutase (MCR) através de um mecanismo de inibição da ogiva de carga tandem (DUIN et al., 2016), e se mostrou um inibidor eficiente de CH₄ sem influenciar negativamente o desempenho animal, indicando que os resultados podem depender da dose utilizada, composição da dieta ou método de suplementação. O aditivo se mostrou eficiente nas pesquisas com animais ruminantes (ALEMU et al., 2021; MARTINEZ-FERNANDEZ et al., 2014; HRISTOV et al. 2015), sugerindo que este composto sintético pode ser adicionado à dieta dos animais sem preocupações quanto à depressão na produtividade (ARAÚJO et al., 2023).

2.OBJETIVO

2.1.Objetivo geral

O objetivo do presente estudo foi avaliar o desempenho produtivo, comportamento ingestivo, qualidade de carne e a emissão de metano de bovinos confinados recebendo diferentes níveis de 3-nitrooxipropanol (Bovaer®) na dieta.

2.2.Objetivo Específico

Os objetivos específicos do estudo foram avaliar os efeitos dos diferentes níveis de 3-nitrooxipropanol na dieta de bovinos confinados sobre:

- 1) o organismo animal e o desempenho produtivo de animais alimentados com 3-nitrooxipropanol;
- 2) a emissão de metano de forma eficiente, utilizando doses diferentes de 3-nitrooxipropanol;
- 3) a qualidade de carne e o perfil de ácidos graxos da carne de bovinos alimentados com 3-nitrooxipropanol;
- 4) o comportamento ingestivo de bovinos recebendo diferentes doses de 3-nitrooxipropanol na dieta.

3.REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Setor pecuário

O setor pecuário assim como os outros setores de produção de alimentos no mundo são importantes para garantir uma oferta de alimentos que supra as necessidades e exigências da população mundial, porém, existe uma preocupação de como aumentar a produção para acompanhar o crescimento da população. A quantidade de habitantes no mundo chegou a 8 bilhões em 2022 e a estimativa é que ainda na década de 2030 o mundo chegará a 9 bilhões de pessoas (UNFPA, 2023), o que enfatiza ainda mais a necessidade de aumentar a produção de alimentos, o Brasil é o terceiro maior produtor de bovinos do mundo, atrás da China e da Índia, respectivamente (USDA, 2023), se considerarmos a última década o Brasil foi o país em que a produção de carne bovina mais cresceu, com um aumento de 1,7 M de toneladas (ABIEC, 2023), dados da USDA (2023) preveem uma

que essa produção seja de 11,16 milhões de toneladas métricas (MTM) de peso de carcaça equivalente para 2023, o que representa um aumento de 8% em comparação a 2022, e um aumento de 2% para 2024. Além de um dos maiores produtores, o Brasil é o maior exportador de carne bovina com 27,7% das exportações mundiais em 2022 (ABIEC, 2023), e a previsão é de que para ambos os anos, 2023 e 2024 o Brasil continue como primeiro no ranking, com as exportações representando cerca de 30% de toda a produção nacional (USDA, 2023).

Atualmente o rebanho brasileiro é composto por 202.783.770m de bovinos, sendo que o abate total em 2022 foi de 42,31 milhões de cabeças, que representa uma produção de 10,79 milhões de toneladas equivalente carcaça (TEC) de carne bovina (ABIEC, 2023). Concomitante com o crescimento do número de animais e abates, temos um aumento das estratégias e tecnologias sendo desenvolvidos para melhorar a produtividade da produção animal, assim, constantemente temos propriedades se voltando para produções mais intensivas, seja a pasto, como é criado a maior parte dos bovinos de corte no Brasil, ou utilizando confinamentos, esse número que vem tendo um aumento recorrente, os dados da ABIEC (2023) demonstra que do total dos animais abatidos, 18,2% foram terminados em confinamento.

Malafaia et al. (2021) definiu em sua pesquisa algumas tendências para a cadeia da pecuária de corte brasileira até 2040, dentre alguns fatores considerados comuns com o avanço da produção nacional, como transformação biotecnológica da pecuária, se voltando para um mercado genético que busca suprir uma demanda de uma genética de melhor qualidade, carne com denominação de origem, tecnologia digital consolidada na cadeia, entre outros, alguns pontos se destacam como a certificação de bem-estar animal e a intensificação dos sistemas desde a produção até o consumo, entrando para dentro da propriedade de forma conjunta, com a adaptação de boas práticas e a intensificação do surgimento de marcas próprias, simultaneamente, o crescimento da produção semi-intensiva ou intensiva, priorizando a maior produção de carne e menos a utilização de pastagens mal manejadas, e a busca frequente por produtos mais naturais e com maior exigência de qualidade, que pode ser descrito através de produções com autenticação de sustentabilidade e estratégias que reduzam as emissões de GEE.

3.2. Terminação de bovinos em confinamento

A produção mundial de carne bovina aumentou constantemente ao longo do último meio século, com uma taxa média anual de 1,59%, atingindo 67,354 milhões de toneladas em 2018, as tendências indicam a previsão de um novo aumento no rendimento, variando de 69 a 89 milhões de toneladas em 2030 (PULINA et al., 2021), o número de bovinos em confinamento tem aumentado constantemente e representou 5,6 milhões de cabeças de gado, ou 12,6% dos 44,2 milhões abatidos no Brasil em 2017 (GREENWOOD, 2021). Analisando a pecuária nacional, o mercado crescente da exportação da carne brasileira e as exigências mundiais por carne de qualidade, a utilização de tecnologias focando a nutrição, a genética e o manejo sanitário dos animais pelos pecuaristas se faz necessária, para que os mesmos consigam produzir produtos de alta qualidade e aceitação pelos consumidores e novos mercados compradores, alcançando maior eficiência produtiva e lucratividade (SILVA, 2016).

A intensificação de sistemas de produção envolve muitos fatores, dentre eles, alguns requisitos devem ser levados em consideração para que esses sistemas proporcionem maior desempenho animal e lucratividade, dessa forma, em um sistema confinado é necessário a utilização de animais com potencial genético e estratégias de alimentação, assim como oferecer condições fundamentais para tal produção. Entretanto, essa estratégia produtiva pressupõe investimentos adicionais, como instalações e principalmente, alimentação que proporcione aporte nutricional adequado, melhores índices de desempenho e que gere reflexos positivos no rendimento de carcaça e na qualidade da carne (COCCO, 2020), assim como um giro mais rápido de receitas, aumento da produtividade, redução das áreas de pasto e diminuição da idade ao abate. As dietas de confinamento visam maximizar a eficiência medida pela eficiência alimentar ou pela relação alimento-ganho, embora nem sempre alcançado perto das taxas máximas de crescimento, dependendo de fatores que incluem a ingestão e a composição do ganho de peso vivo (GREENWOOD, 2021), porém, as dietas de confinamentos são conhecidas por serem dietas mais “quentes”, utilizando maior quantidade de amido em relação a quantidade de alimentos fibrosos, o que prevê o aumento do ganho dos animais que são submetidos a elas. A adequação da relação entre alimentos volumosos e concentrados na dieta está intimamente ligada a fatores relacionados ao animal, ao alimento e a condições de alimentação, cabendo a cada produtor a escolha dos níveis de utilização de acordo com

a realidade de cada propriedade, bem como a disponibilidade de alimentos de cada região (ARRIGONI et al., 2013). Com a introdução do modelo intensivo de produção de carne e aumento da exigência do mercado consumidor por produtos de qualidade, houve um crescimento significativo do número de trabalhos de pesquisa visando obter produtos de melhor qualidade (FERNANDES, 2007), isso porque muitos fatores, incluindo dieta, raça, sexo e idade, influenciam o desempenho animal, a qualidade da carcaça e da carne (ANTONELO et al., 2020), a genética e a nutrição são os principais fatores que influenciam a qualidade da carne bovina e podem ser modificadas dentro do sistema de produção (TEIXEIRA et al., 2022), portanto, as dietas podem ser formuladas com foco na melhoria do produto final.

Atualmente existe uma procura por alimentos com melhor qualidade, as características e atributos sensoriais da carne tem moldado a cada dia o perfil de um novo consumidor, que busca por produtos de boa aparência, macios, com melhor sabor e suculência. A maciez é uma das características fenotípicas mais importantes da qualidade da carne bovina, estando relacionada a multifatores durante a vida do animal como raça, tecido muscular e condição ambiental, que influenciam os períodos antemortem, rigor mortis e post-mortem (MALHEIROS et al., 2020), além da maciez, outro fator qualitativo muito importante é a cor da carne, que segundo Cruz (1997) é influenciada por fatores como maturidade e pH, esse último sendo de grande importância já que o processo de transformação de músculo em carne deve ser realizado da maneira correta para se obter um pH final de 5,6 que possui cor vermelha brilhante, isso porque afeta diretamente a aceitação do consumidor pelo produto, essa cor representa um produto de alta qualidade que atrai os consumidores (OLIVEIRA et al., 2021), já uma carne com aparência mais escura, é rejeitada. Todas as características de qualidade da carne e aceitabilidade podem ser afetadas pela composição da dieta, genética, manejo de abate, condição ambiental, idade e/ou processo de refrigeração no frigorífico.

Outros parâmetros são apontados como de grande importância como teor de gordura e a composição de ácidos graxos, isso porque são fatores que estão diretamente ligados ao sabor e suculência da carne. Esses parâmetros levantam uma discussão sobre a preocupação com o teor nutricional e o impacto que terão na saúde das pessoas, principalmente alguns tipos de gordura, pois, podem estar associadas a doenças. A carne bovina sempre foi considerada um alimento funcional, fornecendo nutrientes como

proteínas de boa qualidade, vitaminas B6 e B12, niacina e ferro e zinco de alta disponibilidade (MIR et al., 2003), porém, a gordura de ruminantes tem maior teor de ácidos graxos saturados (AGS) e menor proporção de AGPI:AGS do que a gordura de não ruminantes, devido à hidrogenação dos ácidos graxos insaturados (AGI) da dieta no rúmen (FRENCH et al., 2011), entretanto alguns componentes da dieta podem alterar o ecossistema microbiano ruminal, alterando, por exemplo, a biohidrogenação (TEIXEIRA et al., 2022), um estudo de Freitas et al. (2014) demonstrou que a carne derivada de novilhos criados e terminados em pastagens apresentou maiores concentrações de ácidos graxos n-3, resultando em menor relação n-6/n-3, do que terminados com dietas concentradas, ou seja, a dieta, a biohidrogenação, entre outros influencia o perfil de ácidos graxos (AG) da carne, sendo então, passível de manipulação.

Segundo French et al. (2000) a gordura presente na carne de ruminantes é uma fonte natural de ácido linoléico conjugado (CLA), mais abundante na natureza, com reconhecida atividade anticarcinogênica e modulador do sistema imunológico, como já comprovado em diferentes modelos animais e o C18:2 trans-10, cis-12, relacionado ao metabolismo de gorduras (FERNANDES, 2007), o conteúdo de CLA na gordura de produtos alimentares derivados de ruminantes dependerá da produção ruminal de CLA e de trans-11 C18:1 e da atividade tecidual da Δ 9-dessaturase (BAUMAN et al., 2000).

Porém, a quantidade de ácidos graxos na carne de ruminantes irá depender de alguns fatores, além da dieta, A raça é um dos principais fatores que impactam a composição de AG, pois a deposição de gordura difere entre as raças (ANTONELO et al., 2020), de acordo com Teixeira et al. (2022) os touros angus produzem carne com maior maciez e concentração de AGPI do que os touros nelore, encontrando também diferenças nos AGs que dependeram da dieta que esses animais receberam no confinamento. Os suplementos alimentares também se tornaram uma estratégia viável para a manipulação de perfis de ácidos graxos (MIR et al., 2003), independente do mecanismo de ação, esses aditivos que possuem influência sobre o ecossistema ruminal possuem possibilidade de mudar o perfil de ácidos graxos da carne.

3.3. Gases de efeito estufa e a produção de carne

As emissões agrícolas mundiais dentro da propriedade agrícola, que são relacionadas com lavoura e pecuária, cresceram 13% entre 2000 e 2020 (FAO, 2022), dentre muitas fontes, o que é emitido pelo gado bovino é o principal contribuinte para as emissões do setor, com cerca de 65% das emissões do setor, sendo que tanto bovinos de corte quanto a produção leiteira geram quantidades semelhantes de emissões de GEE (GERBER et al., 2013). As emissões da fermentação entérica geradas no sistema digestivo de ruminantes foram responsáveis por 39% das emissões agrícolas (FAO, 2022), a contribuição relativa das emissões da fermentação entérica para o total de emissões agrícolas de GEE variará por região, dependendo da estrutura da produção agrícola e do tipo de sistemas de produção pecuária (HRISTOV et al., 2015).

O metano é um produto normal da fermentação ruminal, representando uma via para a eliminação do hidrogênio metabólico produzido durante o metabolismo microbiano (MCALLISTER e NEWBOLD, 2008), portanto, o CH₄ é um subproduto da fermentação ruminal (MARTINEZ-FERNANDEZ et al., 2014), porém, as emissões entéricas de CH₄ significam uma perda de energia para o sistema de produção pois uma parte da energia ingerida como ração é perdida na forma de CH₄ em vez de ser assimilada pelos animais e utilizada na produção (GERBER et al., 2013), já o H₂, que também é utilizado no processo de metanogênese, é incorporado em outras vias metabólicas, sendo uma peça essencial para a maioria das vias de fermentação, tendo um grande impacto na nutrição dos ruminantes (GUYADER et al., 2017). No rúmen, os polissacarídeos (principalmente celulose, hemicelulose e amido) são hidrolisados em glicose e outras hexoses e pentoses, com os monossacarídeos posteriormente metabolizados em ácidos graxos voláteis (AGVs), CO₂ e H₂, enquanto os AGVs são utilizados pelo animal como principal fonte de energia, o CO₂ e o H₂ são utilizados para formar CH₄ (ALEMU et al., 2021), assim, os ácidos orgânicos são absorvidos e metabolizados pelos animais e o metano acaba escapando do rúmen para a atmosfera através da eructação e respiração dos animais (DUIN et al 2016), de forma geral, o CH₄ entérico é considerado um produto final da digestão dos alimentos pelos ruminantes. A produção de metano é uma função metabólica essencial para manter o pH ruminal e a fermentação das forragens (GILL; GARNSWORTHY; WILKINSON, 2021).

Os impactos ambientais podem ser mitigados por mudanças controladas nestes sistemas de produção: a intensificação de linhas especializadas de animais mantidos em condições bem controladas está entre as soluções futuras, assim como a seleção genética de animais para melhorar a produção e a resistência às doenças utilizando ferramentas genômicas, explorações agrícolas maiores, melhor eficiência alimentar e gestão de doenças em áreas confinadas também estão entre as ferramentas para estes sistemas de produção intensivos e semi-intensivos (SIMÕES et al., 2021). Esse progresso no sentido da neutralidade carbônica para o setor de produção de ruminantes pode envolver essas abordagens sistemáticas de toda a exploração, que vão desde e os parâmetros já citados, até melhorias da taxa reprodutiva, número e produtividade dos efetivos, gestão de pastagens e genética animal, e inclusive o uso de estratégias nutricionais (ALMEIDA; HEGARTY; COWIE, 2021), essas estratégias nutricionais se concentram em práticas de manejo alimentar, como suplementação de gordura, inclusão de concentrados, processamento de alimentos de baixa qualidade e melhoria da qualidade geral da forragem, bem como aditivos alimentares, como receptores de elétrons alternativos, antibióticos ionofóricos, compostos bioativos vegetais, enzimas e inibidores de CH₄ (LOPES et al., 2016).

Em contraste com algumas percepções, os confinamentos são responsáveis por uma fração relativamente pequena do CH₄ entérico proveniente da produção de carne bovina, isso se deve porque esse sistema possui sua duração relativamente curta e, em menor grau, ao uso de dietas de terminação à base de grãos (BEAUCHEMIN et al., 2010). Um menor potencial de aquecimento global (PAG) de bovinos de corte em sistemas baseados em concentrados resultou também de menores emissões de metano entérico devido a uma maior quantidade de concentrados e menor quantidade de volumoso nas dietas (VRIES; MIDDELAAR; BOER, 2015), para sistemas intensivos de produção de ruminantes, geralmente confinados, também estão em curso pesquisas sobre a identificação de aditivos e/ou suplementos dietéticos combinados com práticas alimentares modificadas para diminuir a produção de metano (HENCHION et al., 2021).

Devido às consequências negativas para o meio ambiente e à ineficiência energética que representa, muitos esforços de pesquisa têm sido direcionados para a inibição da metanogênese ruminal (UNGERFELD, 2015), a geração de metano no rúmen pode ser diminuída mudando o fluxo de hidrogênio para aceitadores de elétrons alternativos, como o propionato (MCALLISTER e NEWBOLD, 2008). A produção de quantidades

comparativamente grandes de metano por componente monomérico da ração digerida no rúmen está associada à baixa taxa de passagem de sólidos ruminais e à menor formação de propionato, as altas concentrações de H₂ ocorrerão quando os metanógenos precisarem crescer rapidamente para serem mantidos no rúmen, como em altas taxas de passagem ou quando superfícies colonizáveis estão ausentes, dessa forma, pode-se sugerir que as condições que levam ao aumento das concentrações de H₂ no rúmen resultam na formação reduzida de CH₄ por sub-unidade do alimento degradado no rúmen, porque a termodinâmica das vias produtoras de H₂ dos carboidratos é menos favorável em concentrações aumentadas de H₂ do que a termodinâmica das vias de fermentação que produzem menos H₂ (JANSSEM, 2010). O metano emitido pelos ruminantes não só contribui para o aquecimento global, mas também representa perdas energéticas consideráveis e, portanto, não pode ser utilizado pelos animais para fins de produção, assim, a mitigação das emissões de metano entérico dos ruminantes é favorável do ponto de vista da conservação ambiental e da produção animal (JAYANEGARA et al., 2017), o desenvolvimento de estratégias de mitigação eficazes para reduzir o CH₄ entérico dos ruminantes tem, portanto, o potencial para aumentar a eficiência da produção e reduzir o impacto ambiental do gado ruminante (GRUNINGER et al., 2022).

Uma série de tecnologias promissoras, como aditivos alimentares e métodos de seleção genética, têm um forte potencial para reduzir as emissões, mas requerem maior desenvolvimento e/ou prazos mais longos para serem opções de mitigação viáveis (GERBER et al., 2013), a abordagem nutricional, mais especificamente a manipulação ruminal, abrange uma ampla gama de possibilidades (óleos, algas, nitratos, ionóforos, controle populacional de protozoários, bacteriocinas, fitoquímicos, 3-nitrooxypropanol, acetógenos, ácidos orgânicos, entre outros) (ALMEIDA; HEGARTY; COWIE, 2021), o que permite diversos estudos que busquem mitigar a emissão de GEE, melhore ou mantenha o desempenho dos animais, e que seja de possível utilização nas produções de carne em todo o mundo.

3.4. Mecanismo de ação da 3-Nitrooxypropanol

O 3-NOP foi reconhecido como um inibidor entérico de CH₄ em estudos de desenvolvimento por Duval e Kindermann (2012), seu mecanismo de ação foi descrito como um inibidor da redução de CO₂ a CH₄, visando o sítio ativo da metil-coenzima M

redutase (MCR) na etapa final da metanogênese (DUIN et al., 2016). O composto é um análogo estrutural da metil coenzima M e atua como um inibidor competitivo que se liga seletivamente ao MCR e inativa temporariamente a enzima, facilitando a oxidação do íon catalítico de níquel de Ni^+ para Ni_2^+ (GRUNINGER et al., 2022).

A formação de metano por arqueias metanogênicas é catalisada pela MCR em um processo envolvendo a metil coenzima M e coenzima B como substrato (DUIN et al., 2016), a MCR é uma enzima contendo níquel de estrutura única, esse está ligado a um derivado de tetrapirrol denominado cofator F430 (THAUER et al., 2008), esse cofator é responsável por catalisar a etapa final da formação de metano em bactérias metanogênicas (THAUER e BONACKER, 1994), mas para que a MCR esteja ativa, é necessário que seu íon Ni está no estado de oxidação (DUIN et al., 2016), como o 3-NOP e a metil coenzima M são semelhantes em formato molecular, o 3-NOP se liga e inativa a MCR através do cofator de níquel F430, ligando-se ao seu sítio ativo Ni^+ (RAGSDALE, 2017), portanto, com a inativação da enzima, o processo de produção de metano é interrompido e não há formação da molécula.

Muitos autores constataram algumas implicações que esse mecanismo de ação causa ao ambiente ruminal, uma menor produção de CH_4 com 3-NOP foi associada a um aumento de H_2 gasoso e H_2 dissolvido (GUYADER et al. 2017), isso porque, a metanogênese é o principal sumidouro de H_2 no rúmen, conseqüentemente, uma redução na produção de CH_4 está frequentemente associada ao acúmulo de H_2 dissolvido (HAISAN et al. 2017). De acordo com estudos anteriores utilizando 3-NOP *in vivo*, as emissões de CH_4 e a proporção de acetato diminuíram claramente, enquanto a proporção de propionato aumentou significativamente, mas quaisquer efeitos adversos não foram detectados (KIM et al., 2020), isso indica uma diminuição simultânea da formação de metano e redirecionamento do hidrogênio do metano para vias metabólicas mais propiônicas (MARTINEZ-FERNANDEZ et al., 2014), porém, nem todo hidrogênio poupado da diminuição da metanogênese é realocado para outras vias de fermentação, e pode se acumular, mas não traz efeitos negativos sobre a digestibilidade.

Duin et al. (2016) investigou os efeitos do 3-NOP sob micróbios ruminais, e após uma adição de 10 micrometros (μM) às culturas de *Methanothermobacter marburgensis*, tanto o crescimento quanto a metanogênese pararam quase imediatamente, utilizando uma dosagem 10 vezes menor de 3-NOP (1 μM), também descobriram uma inibição

completa, mas após 5 h o crescimento e a formação de metano foram retomados, dados de Prakash et al. (2014) confirmaram que a inibição da metanogênese é reversível *in vivo*, os microorganismos metanogênicos contêm um sistema de reparo que pode reativar o MCR em um processo de redução dependente de H₂, ATP e acompanhantes. Portanto, é necessário uma suplementação constante do composto na ração dos animais para ter uma redução constante e eficiente de CH₄ nos sistemas de produção.

Embora a suplementação de 3-NOP tenha reduzido a abundância relativa de alguns micróbios, incluindo os gêneros *Methanobrevibacter* e *Methanosphaera*, não afetou os táxons mais abundantes e não alterou significativamente a composição geral da comunidade microbiana que coloniza a superfície dos alimentos no rúmen, concluindo que a suplementação de 3-NOP não causa efeitos negativos na degradação *in situ* das fibras ou alterações substanciais na comunidade bacteriana aderida às forragens no rúmen de bovinos (ZHANG et al., 2019), Gruninger et al. (2022) relatou uma redução significativa na abundância relativa de *Euryarchaeota*, o que apoia os resultados anteriores e mostra que *in vivo*, o 3-NOP também possui alta especificidade para metanógenos. Segundo Jayanegara et al. (2017) o menor efeito do 3-NOP nas populações de microorganismos ruminais confirma a especificidade da molécula para atingir o MCR, isso porque o MCR não está presente em outros microorganismos ruminais, mas está presente no grupo das *Archaeas*, supostamente a adição de 3-NOP causa uma restrição de energia nos demais micróbios ruminais, o que conseqüentemente diminui essas populações. O efeito do 3-NOP é, portanto, altamente específico para arqueias metanogênicas (DUIN et al., 2016).

3.5. Resultados e aplicação da 3-Nitrooxypropanol em ruminantes

O 3-NOP parece ser um aditivo alimentar eficaz na redução das emissões de metano provenientes do sistema entérico dos ruminantes (JAYANEGARA et al., 2017), o composto já foi testado experimentalmente em algumas espécies de ruminantes, ou seja, vacas leiteiras, bovinas e ovinas em diversos níveis, e de forma geral a molécula é capaz de diminuir as emissões entéricas de CH₄ de maneira eficiente (HRISTOV et al. 2015; HAISAN et al. 2017; ROMERO-PEREZ et al., 2014; VYAS et al., 2018; KIM et al. 2020; MARTINEZ-FERNANDES et al., 2014; ARAÚJO et al., 2023), entretanto Dijkstra et al. (2018) concluiu que mesmo eficiente, a atuação da 3-NOP pode depender da dose

utilizada e do teor de fibra presente na dieta, com base nessas informações existem diversas pesquisas que entregam diferentes resultados sob o composto, sendo pela adição de níveis diferentes de 3-NOP na dieta, sua utilização com teores de fibras e concentrado em sistemas intensivos, diferentes sistemas pecuários (corte, leite e ovinos) e comparações com outros aditivos inibidores de CH₄, em relação aos fatores que podem afetar o consumo, Lee et al. (2019) sugeriu que a inclusão de 3-NOP poderia alterar a propriedade organoléptica de uma dieta, afetando assim a IMS porém, a mesma não foi afetada quando foram oferecidas dietas suplementadas com e sem 3-NOP, independentemente do tipo de dieta.

Melgar et al. (2020) observou que a administração de 3-NOP nas dosagens de 0, 40, 60, 80, 100, 150 e 200 mg de 3-NOP/kg de matéria seca (MS) de ração diminuiu quadraticamente as emissões entéricas diárias de CH₄ com uma redução média de 31%, encontrando seu efeito máximo de mitigação do 3-NOP com 150 mg/kg de MS de ração, porém não houve diferença estatística as 3 doses mais altas (100, 150 e 200 mg/kg MS), uma meta-análise realizada por Kebreab et al., (2022) mostrou que a eficácia do 3-NOP na mitigação das emissões de CH₄ foi de 32,7%, 30,9% e 32,6% para a produção, rendimento e intensidade de CH₄, respectivamente, a uma dose média de 3-NOP de 70,5 mg/kg MS. Romero-Perez et al. (2015a) utilizou 2g NOP/animal/dia em dietas de animais de corte fistulados e observou um efeito significativo de 59,16% no CH₄ diário produzido por animal quando 3-NOP foi oferecido, sem influenciar no IMS e com uma redução na perda de energia bruta que iria para a produção de CH₄, entretanto, em animais de terminação quando foi fornecido uma dose baixa de 100mg/kg e uma dose alta de 200mg/kg de 3-NOP observou-se que a IMS foi reduzida na primeira fase do experimento com a suplementação alta, e tendeu a reduzir na fase de terminação do experimento, porém as emissões entéricas de CH₄ só foram reduzidas significativamente nas duas fases da pesquisa com uma dose alta de 3-NOP (VYAS et al., 2016a), a suplementação com 200mg/kg MS de 3-NOP para bovinos de corte em confinamento tendeu a reduzir o IMS, mas melhorou a relação G:A (ganho:alimentação) em 2,5% e resultou numa redução sustentada no rendimento de CH₄ entérico de 22%, em média (ALEMU et al., 2021), entretanto Araújo et al. (2023) observou que quando bovinos Nelore em sistema de confinamento para terminação foram suplementados com 100 mg/kg MS e 150mg/kg MS de 3-NOP o IMS não foi afetado em relação ao controle, porém aumentou eficiência do

ganho diário de carcaça (GDC), e independentemente da dose de 3-NOP testada, a suplementação dietética com 3-NOP diminuiu as emissões de CH₄ em 49,3% (g/d).

Kim et al. (2020) em sua meta-análise observou que a suplementação de 3-NOP diminuiu a produção de CH₄ (g/kg CMS), complementando os resultados, as emissões de CH₄ em bovinos de corte e leite diminuíram significativamente conforme um aumento da suplementação de 3-NOP, porém as emissões de H₂ se expandiram com o aumento dos níveis de 3-NOP, o que reforça outros estudos em que encontraram o mesmo mecanismo de ação. É esperada uma elevação na concentração de H₂ devido à adição de 3-NOP, pois o H₂ é utilizado como substrato para arqueias metanogênicas gerarem energia, assim, a inibição da metanogênese teoricamente reduziria a utilização de H₂ e, assim, aumentaria sua concentração no meio (JAYANEGARA et al. 2017), nossa hipótese é que a resposta ruminal à inibição direta da metanogênese se reflete em um redirecionamento de H₂ da formação de CH₄ para outros produtos finais reduzidos que podem beneficiar o animal hospedeiro (MARTINEZ-FERNANDEZ et al., 2018). Dados de Gruninger et al. (2022) corroboram com o que já foi citado, em bovinos que consumiram dietas suplementadas com 3-NOP as emissões entéricas de H₂ aumentaram rapidamente 37 vezes em relação às dietas controle, o que seria resultado de sumidouros alternativos de H₂ atuando como aceitadores de elétrons terminais para capturar parte do aumento de H₂ observado em animais alimentados com 3-NOP, Martinez-Fernandez et al. (2014) observou que houve uma alteração na fermentação ruminal, refletindo em uma redução na relação acetato:propionato, indicando uma maior produção de propionato no ambiente ruminal, que seria uma via alternativa para a utilização de H₂ no rúmen, o que também foi sugerido por Lopes et al. (2016) que observou uma redução molar do acetato e um aumento molar de propionato, butirato, valerato e isovalerato na comparação de 3-NOP com o controle. Segundo Jayanegara et al. (2017) a adição de 3-NOP não compromete o consumo de ração, o desempenho produtivo e a qualidade do produto dos ruminantes, e apesar de reduzir a população metanogênica de *Archaeas*, não afeta as populações de bactérias e protozoários, já a diminuição do metano pela adição de 3-NOP é acompanhada por uma elevação da concentração de H₂ e propionato, e conseqüentemente uma diminuição de acetato, sem prejudicar a digestibilidade e não prejudica o consumo de ração, desempenho produtivo e a qualidade do produto dos ruminantes.

Dados encontrado por Lopes et al. (2016) onde o 3-NOP não teve efeito na composição ruminal das *Archaeas*, mostrou que o inibidor tendeu a diminuir a proporção de contagens de células metanogênicas em todo o conteúdo ruminal, diminuindo a emissão entérica de CH₄ em 31%, concomitante com uma redução na relação acetato-propionato e aumento nas proporções de propionato e butirato no líquido ruminal de vacas leiteiras. Nossos resultados fornecem forte suporte de que a diminuição do CH₄ entérico observada em animais que consomem 3-NOP resulta do modo de ação direcionado na metanogênese, causando uma diminuição dramática na abundância de metanógenos no fluido ruminal e na digesta, os efeitos sobre as bactérias e protozoários ruminais são mínimos, pois o 3-NOP é um inibidor altamente direcionado que reduz especificamente a atividade dos metanógenos ruminais dominantes (GRUNINGER et al., 2022)

Contudo, há preocupações sobre a utilização de aditivos e os resíduos que os mesmos podem deixar no meio ambiente, em Lupwayi et al. (2023) os resultados obtidos através de um estudo utilizando o 3-NOP mostrou que não foram identificadas ameaças ambientais associadas ao seu uso para reduzir a produção entérica de CH₄ em confinamentos de gado de corte, o 3-NOP foi correlacionado com uma elevada biomassa microbiana e atividade enzimática no primeiro ano, bem como a diversidade fúngica no segundo ano, mas estes efeitos não persistiram ou a sua persistência permanece incerta. Em relação a sua utilização *in vivo*, a evidência global dos estudos *in vitro* e *in vivo* sugere que o 3-NOP não é clastogênico nem aneugênico, assim, o 3-NOP e seus metabólitos podem ser considerados não mutagênicos e não genotóxicos, podendo ser utilizados sem restrições em animais (THIEL et al., 2019).

A alimentação com 3-NOP foi considerada uma estratégia eficaz para reduzir as emissões de metano, sem prejuízo no desempenho, características da carcaça e na qualidade da carne (ARAÚJO et al., 2023), concluindo então que o 3-NOP é um candidato viável como aditivo alimentar devido aos seus fortes efeitos de mitigação de CH₄, independentemente do tipo de animal e do período do experimento, sem efeitos adversos no desempenho dos animais (KIM et al., 2020), mas embora estudos tenham confirmado a eficácia do aditivo na redução das emissões de CH₄, a dose ideal de suplementação necessária para mitigar as emissões de CH₄ sem efeitos negativos na ingestão de matéria seca precisa de mais estudos (VYAS et al., 2016b), portanto, há um interesse em relacionar as doses de 3-NOP com as emissões de CH₄, para encontrar a dose que seja

eficiente na mitigação de gases e não prejudique o desempenho animal, mas que seja viável a sua utilização dentro dos sistemas de produção de carne.

4.MATERIAIS E MÉTODOS

4.1.Local, animais e dieta

O experimento foi realizado no centro experimental da DSM, instalado na Fazenda Caçadina, no município de Rio Brilhante, MS. O experimento foi conduzido entre os meses de setembro a dezembro de 2022, seguindo a aprovação do comitê de ética, com número de protocolo 008/22 BR220701.

Foram utilizados 30 animais da raça Nelore com peso médio de 407.25 ± 2.04 kg que foram distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado nos seguintes tratamentos: 1- CON (sem inclusão de 3-NOP); 2- BV75 (inclusão de 3-NOP em 75 mg/kg MS); 3-BV100 (inclusão de 3-NOP em 100 mg/kg MS). O aditivo 3-NOP (Bovaer, DSM Nutritional Products, Kaiseraugst, Suíça) foi fornecido e incorporado na dieta antes da ração ser distribuída no cocho dos animais. As dietas foram balanceadas de acordo com o RLM e NRC (2020) sendo isonitrogenadas e isoenergéticas, foram fornecidas duas dietas de adaptação por um período total de 14 dias e em seguida fornecida a dieta de terminação, os animais permaneceram 86 dias no confinamento e posteriormente foram abatidos.

Tabela 1- Ingredientes e composição nutricional das dietas experimentais

Ingrediente (%)	Dietas		
	Adaptação (0-7 dias)	Adaptação (7-14dias)	Terminação
Bagaço de cana	17,84	13,57	9,60
Milho moído	46,22	36,77	39,26
Silagem de grão úmido de milho	0,00	15,00	18,00
Torta de algodão	21,50	21,42	22,00
Farelo de algodão	11,50	10,30	8,00
Suplemento ^{1,2}	2,95	2,94	2,94
Ureia protegida	0,00	0,00	0,10
Ureia pecuária	0,00	0,00	0,10
Composição química (g/kg MS)			
Matéria seca	559,05	603,80	619,47
Matéria orgânica	934,92	936,69	936,96
Proteína bruta	141,46	141,18	143,36
Fibra em detergente neutro	352,98	314,98	282,67

Fibra em detergente ácida	145,90	131,36	119,96
Lignina	54,38	48,48	43,69
Amido	308,34	339,90	373,10
Extrato etéreo	42,76	45,09	47,21
Cinzas	65,08	63,31	63,04
Carboidratos não fibrosos	397,71	435,44	463,72
Nutrientes digestíveis totais	622,49	634,93	644,57
Energia líquida ganho (Mcal/kg MS)	2,35	2,41	2,45

¹Suplemento mineral e vitamínico contendo tratamentos dietéticos: MON = monensina sódica (26 mg/kg MS); BOE = blend de óleos essenciais (90 mg/kg MS); A monensina sódica (Rumensin) utilizada é da Elanco Animal Health, Indianápolis, IN. A mistura de óleos essenciais (CRINA Ruminants) da DSM-Firmenich, Basel, Suíça. ²O suplemento mineral e vitamínico foi composto (base MS) de 262 g/kg Ca, 18 g/kg P, 23 g/kg S, 17 g/kg Mg, 70 g/kg Na, 20 mg/kg Co, 455 mg /kg Cu, 14 mg/kg Cr, 38 mg/kg I, 1.269,99 mg/kg Mn, 14 mg/kg Se, 1.700 mg/kg Zn, 83.400,07 UI/kg vitamina A, 16.679,98 UI/kg vitamina D3, 170 UI /kg de vitamina E, fabricado pela DSM-Firmenich, São Paulo, Brasil.

4.2. Consumo e desempenho

Os animais foram alojados em confinamento de baia única com dimensionamento de 20 m²/animal. O confinamento disponibiliza 6 cochos eletrônicos da Intergado (AF 1000). Estes equipamentos possuem comedouros que ficam apoiados sobre células de carga, possibilitando o registro eletrônico do alimento consumido por cada animal, desta forma o consumo de matéria seca e nutrientes foram mensuradas diariamente. Amostras de alimentos e sobras foram coletadas mensalmente e armazenadas no freezer para posteriores análises de matéria seca (MS, método 950.15), cinzas (método 942.05), matéria orgânica (MO, 1000-cinzas), proteína bruta (PB, N × 6.25, método Kjeldahl 984.13), extrato de etéreo (EE, método 920.39) e lignina (método 973.18), de acordo com os métodos descritos pela AOAC (2000). O teor de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) das amostras foram mensurados de acordo com Van Soest et al. (1991). O teor de amido das amostras foi determinado por espectrofotometria após degradação enzimática (Amyloglucosidase AMG 300L, Novozymes) de acordo com Bach Knudsen (1997).

Os animais foram pesados diariamente através da plataforma de pecuária de precisão (®BOSCH) que realiza a pesagem por passagens dos animais através da mesma, o monitoramento frequente realizará a mensuração do peso, ganho de peso diário (GPD), calculado diariamente e ganho médio diário (GMD) do período do animal no sistema. O ganho de peso foi calculado a partir de equações de regressão polinomial simples através do PROC REG do SAS 9.4. Como a curva de crescimento dos animais parte do pressuposto de uma função linear simples, foi gerado uma equação de regressão para cada

animal a partir das médias do peso vivo, onde o *slope* das equações representa de forma precisa o ganho de peso total do período observado, descartando possíveis erros em função do tempo ou erro de pesagens.

4.3. Comportamento ingestivo

Os dados referentes ao comportamento animal foram coletados diariamente ao longo dos 86 dias do período experimental individualmente dos 30 animais avaliados de acordo com tratamentos experimentais. Foi realizado através do sistema automatizados on-line da Intergado[®]. As variáveis analisadas foram: tempo de consumo (min/dia), frequência de idas ao cocho (n) e consumo de matéria seca (min/kg e kg/visita ao cocho). Os dados individuais e diários foram agrupados com médias semanais para fins de análise estatística.

4.4. Abate e qualidade da carne

Após os 86 dias de confinamento os animais foram pesados individualmente em balança mecânica para obtenção do peso cheio, após essa pesagem foram submetidos a um jejum de 12 horas, quando permaneceram apenas com dieta hídrica, seguido de uma nova pesagem após essas 12 horas para obter o peso vazio, os animais receberam a dieta após o manejo de pesagem e na manhã do dia seguinte foi realizado o embarque e transporte dos animais para o frigorífico, onde posteriormente foram abatidos. Os animais foram transportados a uma distância de aproximadamente 220km até o frigorífico JBS S/A - Campo Grande, MS, Unidade I. Após a insensibilização com pistola pneumática, foram realizados os procedimentos de sangria, evisceração e toailete das carcaças quentes. As carcaças foram divididas longitudinalmente ao meio e as meias carcaças foram, em seguida, identificadas e pesadas em balança com capacidade de 300 kg e resolução de 100 g. As meias-carcaças foram mantidas em câmara frigorífica a 4°C por aproximadamente 24 horas. Após o resfriamento, uma seção do músculo *Longissimus* entre a 11^a e 13^a costelas de cada meia-carcaça esquerda foram coletadas. Duas fatias do músculo de cada animal, com aproximadamente 2,5 cm de espessura, foram retiradas para determinação dos parâmetros físico-químicos determinados no músculo Longissimus, o pH foi determinado após o descongelamento das peças utilizando um pHmetro digital portátil calibrado (Testo 205, Testo, Lenzkirch, Alemanha) e inserido no músculo, a cor

foi determinada utilizando um colorímetro digital previamente calibrado (Chroma Meter CR-400, Konika Minolta Co., Osaka, Japão), a análise mediu luminosidade (L^*), vermelho (a^*) e amarelo (b^*) na carne.

Para a capacidade de retenção de água (CRA) foi utilizado o método de compressão descrito por Cañeque e Sañudo (2005), onde uma amostra de aproximadamente 2 g foi submetida a um peso de 2.250 kg por 5 min, o resultado foi obtido pela diferença de peso inicial e final, expressa em porcentagem. A perda de peso por cozimento (PC) foi obtida através da metodologia descrita por Osório et al. (2008), as amostras de carne foram assadas em forno elétrico pré-aquecido a 170 °C até a temperatura interna atingir 70 °C, os pesos das amostras antes e após o cozimento foram utilizados para calcular a perda total (%), as amostras utilizadas para análise de PC foram utilizadas para realizar a análise de força de cisalhamento (FC) em amostras cozidas, tiras longitudinais de fibras musculares foram retiradas usando um amostrador cilíndrico de aço, as amostras foram inseridas no aparelho acoplado a uma lâmina Warner Bratzler de 1 mm (TA-XT Plus, Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Reino Unido) para determinar a força necessária para cortar cada cilindro transversalmente, a força média realizada para cortar os cilindros foi calculada e expressa em quilograma-força (kgf).

Os teores de MS foram determinados em estufa a 55°C, uma vez que houve reabsorção de água nas amostras submetidas a análises laboratoriais, e os resultados obtidos corrigidos para matéria seca total. Foram determinados os teores de EE, por extração em aparelho Soxhlet; e minerais, pela queima do material em mufla a 600°C por 16 horas (Alleoni et al., 1997).

4.5. Perfil de ácidos graxos da carne

Para determinação do perfil de ácidos graxos (AG), as amostras foram liofilizadas por 72 horas e em seguida moídas por um processador, os lipídios totais foram extraídos de acordo com Bligh e Dyer (1959), posteriormente foram pesados 60mg da fração lipídica extraída e, em seguida, foi submetida à metilação segundo Maia & Rodriguez-Amaya (1993), visando a preparação para a análise por cromatografia gasosa.

A análise dos ésteres metílicos dos ácidos graxos foi realizada em cromatógrafo gasoso, equipado com detector de ionização de chama, injetor “Split/splitless”, coluna

capilar de sílica fundida contendo polietilenoglicol como fase estacionária (DB-Wax, 30 m x 0,25 mm, J&W Scientific), nas seguintes condições cromatográficas: temperatura do injetor 250 °C; temperatura da coluna 180 °C durante 20 minutos, programada a 2 °C por minuto até 220 °C; temperatura do detector 260 °C, gás de arraste hidrogênio com fluxo de 1,0 mL/min., gás “make-up” nitrogênio a 20 mL/min. e volume de injeção de 1µL. Para a identificação dos ácidos graxos compararam-se os tempos de retenção com os dos padrões ésteres metílicos (Sigma-Aldrich), enquanto a quantificação foi realizada pela normalização de área expressando-se o resultado em percentual de área de cada ácido sobre a área total de ácidos graxos. A quantificação foi feita por padronização interna (Joseph & Ackman, 1992) e expressa em (g/100g de ácidos graxos).

As atividades das enzimas 9 dessaturases e elongase foram determinadas, de acordo com Malau-Aduli et al. (1997), Kazala et al. (1999) e Pitchford et al. (2002), por meio de índices matemáticos. O índice de aterogenicidade foi calculado conforme a proposta de Ulbricht & Southgate (1991), como indicador para o risco de doença cardiovascular. Os cálculos foram feitos da seguinte forma: Δ^9 dessaturase 16 : 100 [(C16 :1cis9)/(C16 :1cis9 + C16 :0)] Δ^9 dessaturase 18 : 100 [(C18 :1cis9)/(C18 :1cis9 + C18 :0)] Elongase : 100 [(C18 :0+C18 :1cis9)/(C16 :0+C16 :1cis9+C18 :0+C18 :1cis9)] Aterogenicidade: [C12:0 + 4(C14:0) + C16:0]/(AGS + AGP).

4.6. Coleta de Metano

A produção de gás metano (CH₄) foi medido através do aparelho chamado GreenFeed, que também mediu o dióxido de carbono (CO₂) e, opcionalmente, pode medir oxigênio (O₂) e hidrogênio (H₂) de animais individuais. Os detalhes do método foram descritos por Huhtanen et al. (2015), de acordo com Huhtanen, Ramin e Hristov (2019) o sistema de monitoramento de emissões GreenFeed é baseado em amostragem pontual de gases exalados e eructados, permitindo a medição da produção entérica de CH₄ em um grande número de animais em condições de fazenda, para auxiliar a medição o sistema pode ser programado para fornecer pequenas quantidades de ração peletizada para atrair animais individuais para visitá-los várias vezes por dia para medir os gases exalados. Os dados de emissões de gases são registrados e processados, permitindo que o usuário acesse facilmente um relatório resumido dos fluxos calculados. A operação GreenFeed é iniciada quando o animal coloca a cabeça dentro do capô, um leitor de

identificação por radiofrequência (RFID) identifica a etiqueta auricular do animal e a amostragem GF é ativada quando a cabeça do animal (localizada por um sensor infravermelho) está no local correto dentro do capô, e considera-se então que tenha decorrido tempo suficiente desde a medição de metano para esse animal (Hammond et al., 2015), os dados são utilizados para agregar dados de emissões de animais individuais. O GreenFeed foi programado usando o software C-Lock Inc. que permite um fácil controle e monitoramento, mesmo em grandes distâncias, através da internet.

4.7. Análises estatísticas

Os dados de consumo, desempenho, atributos de carcaça e qualidade de carne foram submetidos ao SAS (Version 9.4, SAS Institute, Cary, NC 2015), verificando a normalidade dos resíduos e a homogeneidade das variâncias pelo PROC UNIVARIATE.

Os dados foram analisados, pelo PROC MIXED de acordo com o seguinte modelo:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + S_j + e_{ij}$$

Onde: Y_{ij} = variável dependente, μ = média geral, A_i = efeito aleatório de animal ($i = 1$ a 48); S_j = efeito fixo de aditivo ($j = 1$ a 2). Os graus de liberdade foram corrigidos por DDFM = kr. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo comando PROC MIXED do SAS, versão 9.4 (SAS, 2015), adotando-se nível de significância de 5%.

5. RESULTADOS

5.1. Desempenho animal

Os animais que receberam 3-NOP apresentaram peso corporal final (PC) ($P = 0,046$) e GMD ($P = 0,038$) maior em relação aos animais do grupo controle, de modo que os novilhos suplementados com BV75 apresentaram PC ($P = 0,036$) e GMD ($P = 0,025$) superior em relação ao BV100 (Tabela 02). Não foram observadas diferenças para a IMS (kg/dia e %PV) entre os animais suplementados em relação ao controle, entretanto, o grupo BV75 apresentou maior IMS (kg/dia e % PV) ($P = 0,047$) em relação BV100.

A adição do 3-NOP proporcionou maior peso da carcaça quente (PCQ) ($P = 0,037$), GMD ($P = 0,038$) e eficiência biológica ($P = 0,023$), adicionalmente, os novilhos

suplementados com BV75 apresentaram maior ganho médio de carcaça (GMC) ($P = 0,023$), como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2- Desempenho produtivo e eficiência biológica de acordo com os tratamentos experimentais.

Item	Inclusão de 3-NOP (mg/kg MS) ¹			EPM ²	Valor de P ³	
	0	75	100		C1	C2
Peso inicial, kg	406,30	409,60	405,89	5,719	-	-
Peso final, kg	546,70	558,30	543,22	7,116	0,046	0,036
GMD ⁴ , kg/dia	1,63	1,73	1,60	0,045	0,038	0,025
IMS ⁵ , kg/dia	11,32	11,14	10,61	0,208	0,323	0,028
IMSPV ⁶	2,38	2,31	2,24	0,038	0,204	0,047
IMS:GMD	7,05	6,52	6,71	0,156	0,442	0,612
GMD:IMS	0,15	0,15	0,15	0,003	0,339	0,657
PCQi ⁷ , kg	197,70	199,47	197,81	3,029	0,346	0,623
PCQf ⁸ , kg	306,65	312,30	305,33	4,029	0,037	0,564
RC ⁹ , %	56,08	55,97	56,21	0,172	0,979	0,587
GMC ¹⁰ , kg	1,27	1,31	1,26	0,027	0,038	0,023
EficBio ¹¹	135,27	128,04	127,81	2,544	0,023	0,547

¹Inclusão de Bovaer® (3-nitrooxypropanol), DSM-Firmenich. ²EPM (erro padrão da média). ³C1 (controle vs Bovaer®); C2 (75 vs 100 mg/kg MS BOVAER®). ⁴ Ganho médio diário. ⁵ Ingestão de matéria seca. ⁶ Ingestão de matéria por peso vivo (%PV). ⁷ Peso de carcaça quente inicial. ⁸ Peso de carcaça quente final. ⁹Rendimento de carcaça. ¹⁰ Ganho médio de carcaça. ¹¹ Eficiência biológica (IMS/PV).

5.2. Comportamento ingestivo

Os tratamentos experimentais não influenciaram ($P \geq 0,651$) o comportamento ingestivo dos animais avaliados. Entretanto foi observado efeito do período experimental ($P < 0,0001$) para tempo de consumo (min/dia), visitas ao cocho (n) e para o consumo de matéria seca (min/kg e kg/visitas ao cocho). Adicionalmente foi observado interação ($P = 0,034$) entre tratamento e período experimental para visitas ao cocho (n) (Tabela 3).

Tabela 3- Comportamento ingestivo de acordo com os tratamentos experimentais.

Item	Inclusão de 3-NOP (mg/kg MS) ¹			EPM ²	Valor de P ³				
	0	75	100		Trat	Tempo	INT	C1	C2
Tempo de consumo (min/dia)	81,75	90,05	76,05	2,329	0,403	<,0001	0,434	0,885	0,184
Visitas ao cocho (n)	50,73	57,98	51,13	1,041	0,282	<,0001	0,034	0,189	0,566
<i>Consumo de matéria seca</i>									
Minutos/kg	4,90	5,44	4,89	0,144	0,651	<,0001	0,422	0,661	0,418
Kg/visita ao cocho	0,358	0,309	0,362	0,008	0,496	<,0001	0,199	0,594	0,293

¹Inclusão de Bovaer[®] (3-nitrooxypropanol, mg/kg MS), DSM-Firmenich. ²EPM (erro padrão da média). ³Efeito de tratamento; tempo e interação Tratamento*Tempo; C1 (controle vs Bovaer[®]); C2 (75 vs 100 mg/kg MS Bovaer[®]).

Os novilhos suplementados com BV75 permaneceram mais tempo no cocho (min/dia) a partir do 40º dia do período experimental, sendo este comportamento permanecendo até o 80º dia do período de avaliação (Figura 1). Os animais do grupo BV100 não apresentaram diferenças em relação ao grupo controle ao longo de todo o período experimental. De modo geral todos os grupos experimentais aumentaram o tempo de permanência ao cocho a partir do 30º dia do período experimental.

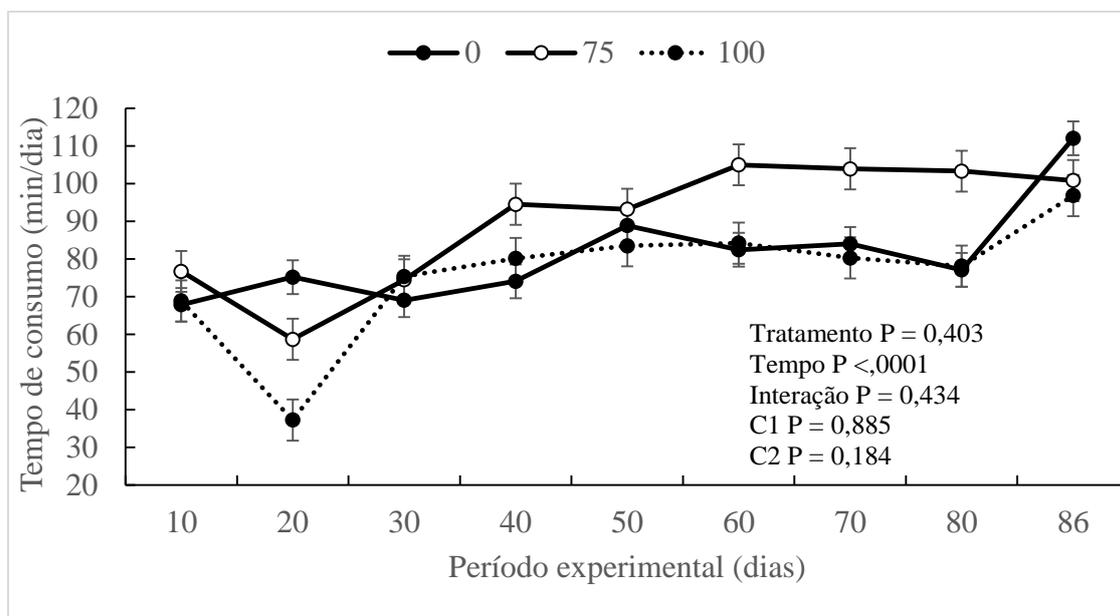


Figura 1- Tempo de consumo (min/kg MS) de acordo com os tratamentos experimentais ao longo do período experimental.

O tratamento BV75 visitou mais vezes o cocho a partir do 50º dia do período experimental sendo este comportamento permanecendo até o dia 86 do período de avaliação (Figura 02), o grupo BV100 não apresentaram diferenças em relação ao grupo controle ao longo de todo o período experimental. De modo geral todos os grupos experimentais reduziram o número de visitas ao cocho a partir do 40º dia do período experimental.

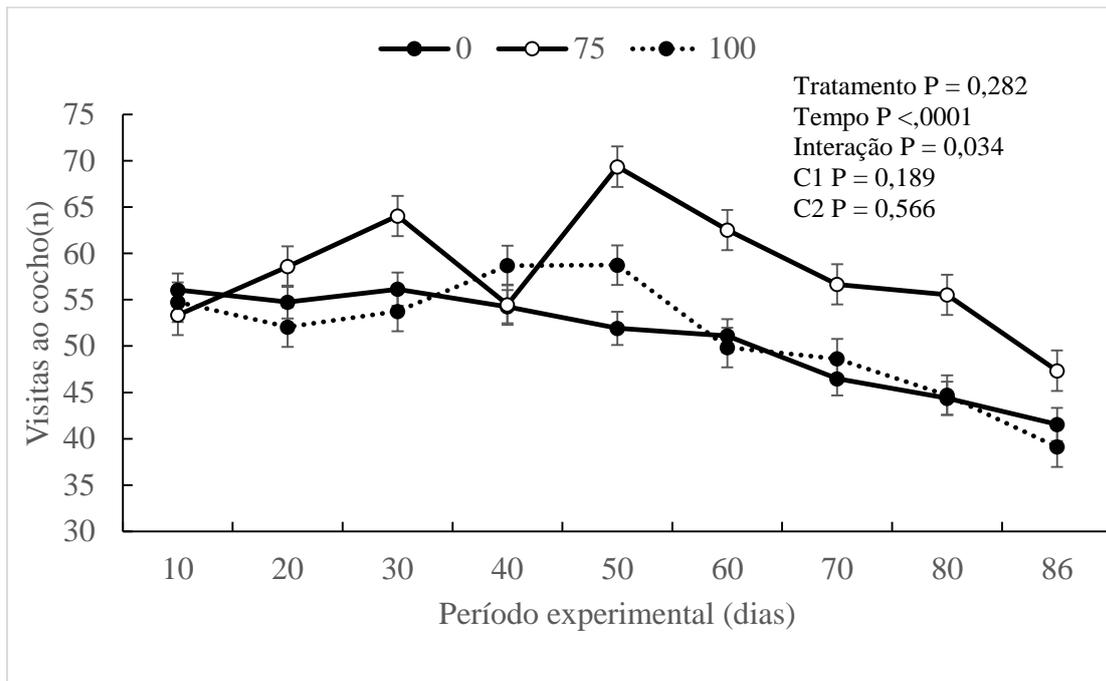


Figura 2- Visitas ao cocho (n) de acordo com os tratamentos experimentais ao longo do período experimental.

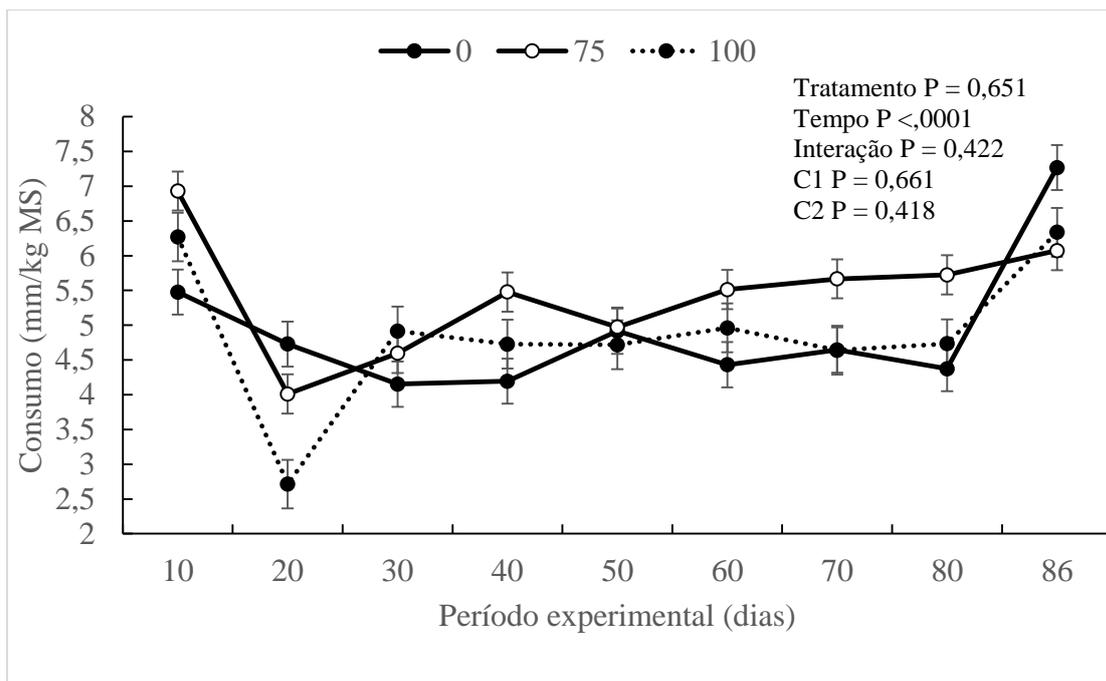


Figura 3- Consumo de matéria seca (min/kg) de acordo com os tratamentos experimentais ao longo do período experimental.

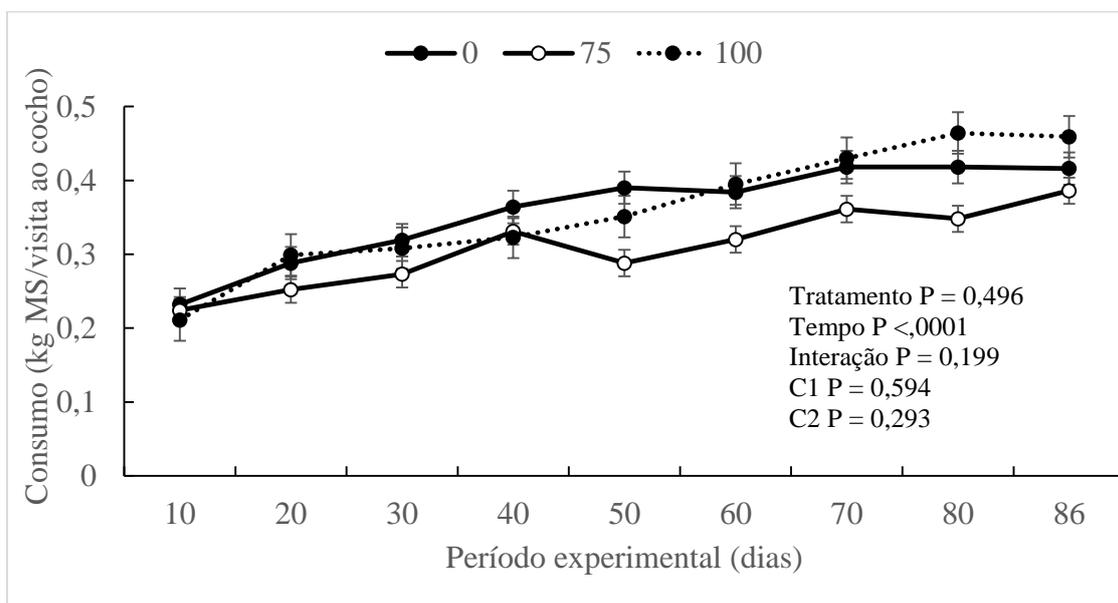


Figura 4- Consumo de matéria seca (kg/visita ao cocho) de acordo com os tratamentos experimentais ao longo do período experimental.

Em relação ao consumo de matéria seca (min/kg e kg/visitas ao cocho) não foram observadas diferenças entre os grupos experimentais ao longo do período experimental (Figuras 3 e 4), porém foi observado um aumento do consumo de matéria seca (kg/visitas ao cocho) ao longo de todo o período experimental.

5.3. Emissão de metano

Tabela 4- Emissão de metano de acordo com os tratamentos experimentais.

Item	Inclusão de 3-NOP (mg/kg MS) ¹			EPM ²	Valor de P ³	
	0	75	100		C1	C2
CH ₄ ⁴ , g/dia	204,45	135,56	117,14	7,859	<,0001	0,041
H ₂ ⁵ , g/dia	1,01	4,27	4,73	0,083	<,0001	0,390
CH ₄ :IMS	18,21	12,24	11,08	0,681	<,0001	0,190
CH ₄ :GMD	129,04	80,25	73,64	5,916	<,0001	<,0001
CH ₄ :GMC	164,14	104,71	93,93	7,017	<,0001	0,287
CH ₄ :EficBio	1,53	1,06	0,93	0,058	<,0001	0,107

¹Inclusão de BOVAER® (3-nitrooxypropanol), DSM PERFORMANCE SOLUTIONS. ²EPM (erro padrão da média). ³C1 (controle vs BOVAER®); C2 (75 vs 100 mg/kg MS BOVAER®). ⁴Metano. ⁵Hidrogênio.

A suplementação com 3-NOP proporcionou menor emissão de metano (g/dia) (P<,0001) e maior emissão de hidrogênio (g/dia) (P<,0001) em relação ao controle, os novilhos suplementados emitiram 38,2 % menos metano em comparação aos animais não suplementados. Adicionalmente a emissão de hidrogênio (g/dia) foi 4,45 vezes maior para os novilhos suplementados com 3-NOP. Os animais do grupo BV100 de apresentaram menor emissão de metano (P = 0,041) (9 % menos) em relação aos novilhos suplementados com BV75.

Os novilhos que receberam 3-NOP apresentaram menos emissão de metano (P <,0001) por kg de ingestão de matéria seca (CH₄:IMS), ganho médio diário (CH₄:GMD), ganho médio de carcaça (CH₄:GMC) e eficiência biológica (CH₄:EficBio) em relação ao controle, quando comparados os valores de emissão entre os tratamentos com 3-NOP, os animais suplementados com BV100 apresentaram menor emissão de metano por ganho médio diário (P <,0001) em relação ao BV75.

5.4. Qualidade e composição química da carne

A adição de 3-NOP apresentou menor pH (P = 0,002), maior capacidade de retenção de água (P = 0,041) e menor força de cisalhamento (P = 0,042) e maior teor de lipídeos

(P = 0,031) na carne em relação aos animais do grupo controle (Tabela 5). Não foram observadas diferenças entre os grupos experimentais para coloração da carne (a*), coloração da gordura (b*) e luminosidade (L*).

Tabela 5- Qualidade e composição química da carne de acordo com os tratamentos experimentais.

Item	Inclusão de 3-NOP (mg/kg MS) ¹			EPM ²	Valor de P ³	
	0	75	100		C1	C2
pH	5,68	5,62	5,61	0,015	0,002	0,421
Capacidade retenção de água ⁴ , %	76,62	78,22	79,91	0,794	0,041	0,381
Perdas por cocção ⁵ , %	41,98	41,34	40,44	0,654	0,125	0,458
Força de cisalhamento ⁶ , kg/cm ²	7,66	7,23	7,00	0,015	0,042	0,496
<i>Cor</i>						
a* ⁷	14,90	14,99	14,97	0,201	0,235	0,125
b* ⁸	3,27	3,66	3,40	0,159	0,458	0,526
L* ⁹	35,53	35,36	35,25	0,194	0,601	0,825
<i>Composição química</i>						
Umidade, %	70,90	70,82	71,13	0,097	0,204	0,742
Extrato etéreo, %	3,85	5,51	5,73	0,284	0,031	0,235

¹Inclusão de Bovaer® (3-nitrooxypropanol, g/dia), DSM-Firmenich. ²EPM (erro padrão da média). ³C1 (controle vs Bovaer®); C2 (75 vs 100 mg/kg MS Bovaer®). ⁴ Capacidade de retenção de água. ⁵ Perda por cocção ou cozimento. ⁶ Força de cisalhamento. ⁷ Vermelho. ⁸ Amarelo. ⁹ Luminosidade.

A utilização de 3-NOP na dieta dos novilhos mostrou uma influência sobre os valores de extrato etéreo (EE), os valores de EE foi maior nos tratamentos que receberam a 3-NOP (P=0,031), sem diferença entre os grupos experimentais que foram suplementados.

Tabela 6- Perfil individual de ácidos graxos da carne de acordo com os tratamentos experimentais.

Item	Inclusão de 3-NOP (mg/kg MS) ¹			EPM ²	Valor de P ³

	0	75	100		C1	C2
Ac. graxos (g/100 g)						
C10:0	0,109	0,109	0,111	0,001	0,421	0,168
C12:0	0,210	0,205	0,216	0,003	0,945	0,200
C14:0	2,423	2,459	2,416	0,022	0,766	0,447
C14:1	0,361	0,372	0,381	0,004	0,033	0,390
C15:0	0,104	0,106	0,104	0,001	0,621	0,394
C16:0	21,69	21,77	21,69	0,038	0,626	0,460
C16:1	1,63	1,65	1,68	0,011	0,037	0,236
C17:0	1,36	1,34	1,34	0,011	0,324	0,945
C17:1	0,834	0,879	0,857	0,007	0,026	0,198
C18:0	17,45	17,42	17,45	0,042	0,872	0,725
C18:1	48,08	48,05	48,02	0,060	0,736	0,835
C18:2 ω 6	3,59	3,57	3,60	0,023	0,992	0,533
C18:2 CLA ⁴	0,274	0,286	0,291	0,003	0,036	0,552
C18:3 ω 3	0,144	0,146	0,149	0,002	0,019	0,631
C20:0	0,143	0,141	0,142	0,002	0,783	0,873
C20:1	0,105	0,109	0,110	0,001	0,035	0,672
C20:2	0,114	0,110	0,112	0,001	0,094	0,255
C20:3 ω 3	1,37	1,33	1,34	0,011	0,175	0,884
C20:3 ω 6	0,112	0,110	0,112	0,001	0,459	0,204
C20:4	0,145	0,141	0,140	0,003	0,602	0,920
C20:5 ω 3	0,106	0,104	0,102	0,001	0,123	0,366
C22:1	0,347	0,352	0,353	0,001	0,294	0,994

¹Inclusão de Bovaer[®] (3-nitrooxypropanol, mg/kg MS), DSM-Firmenich. ²EPM (erro padrão da média). ³C1 (controle vs Bovaer[®]); C2 (75 vs 100 mg/kg MS Bovaer[®]). ⁴ Ácido linoleico conjugado.

Tabela 7 - Somatório, relações, atividade enzimática e índices do perfil de ácidos graxos da carne de acordo com os tratamentos experimentais.

Item	Inclusão de 3-NOP (mg/kg MS) ¹	EPM ²	Valor de P ³
------	--	------------------	-------------------------

	0	75	100		C1	C2
Σ 10-C a 14-C ⁴	3,10	3,14	3,12	0,022	0,530	0,716
Σ acima de 16-C ⁵	97,62	97,63	97,64	0,024	0,985	0,948
Σ AGS ⁶	43,50	43,55	43,49	0,047	0,874	0,602
Σ AGI ⁷	57,22	57,23	57,26	0,048	0,879	0,755
Σ AGMI ⁸	51,35	51,42	51,40	0,061	0,682	0,939
Σ AGPI ⁹	5,86	5,80	5,85	0,034	0,601	0,572
Σ AGCI ¹⁰	2,30	2,32	2,30	0,013	0,735	0,520
Σ AG ω 3 ¹¹	0,362	0,360	0,363	0,002	0,935	0,675
Σ AG ω 6 ¹²	4,96	4,90	4,94	0,003	0,627	0,607
Relação sat/insat ¹³	1,31	1,32	1,32	0,001	0,932	0,658
Relação sat/insat 18-C ¹⁴	0,336	0,334	0,335	0,110	0,514	0,706
Relação ω 6: ω 3 ¹⁵	13,73	13,64	13,63	0,022	0,703	0,991
Relação produto/substrato ¹⁶						
C:14:1/14:0	6,73	6,63	6,37	0,102	0,280	0,301
C:16:1/16:0	13,32	13,16	12,86	0,095	0,136	0,196
C: 18:1/18:0	0,363	0,362	0,363	0,001	0,867	0,772
Δ^9 desaturase C16:0	6,99	7,06	7,21	0,047	0,125	0,196
Δ^9 desaturase C18:0	73,36	73,39	73,33	0,062	0,982	0,728
Elongase	73,75	73,64	73,68	0,045	0,398	0,755
Índice aterogênico	0,676	0,644	0,601	0,006	0,077	0,239
Índice trombogênico	0,966	0,972	0,970	0,002	0,416	0,777
Índice h:H ¹⁷	2,247	2,233	2,2440	0,005	0,451	0,399

¹Inclusão de Bovaer[®] (3-nitrooxypropanol, mg/kg MS), DSM-Firmenich. ²EPM (erro padrão da média). ³C1 (controle vs Bovaer[®]); C2 (75 vs 100 mg/kg MS Bovaer[®]). ⁴Ácidos graxos de 4 a 14 carbonos. ⁵Ácidos graxos com mais de 16 carbonos. ⁶Ácidos graxos saturados. ⁷Ácidos graxos insaturados ⁸Ácidos graxos monoinsaturados. ⁹Ácidos graxos poliinsaturados. ¹⁰Ácidos graxos de cadeia ímpar. ¹¹Ácidos graxos ômega 3. ¹²Ácidos graxos ômega 6. ¹³Relação ácidos graxos saturados/insaturados total. ¹⁴Relação ácidos graxos saturados/insaturados com 18 carbonos. ¹⁵Relação ácidos graxos ômega 6: ômega 3. ¹⁶Relação produto/substrato da enzima estearoil-CoA dessaturase. ¹⁷Relação de ácidos graxos hipocolesterolêmicos e hipercolesterolêmicos.

Os novilhos suplementados com 3-NOP apresentaram maior concentração ($P \leq 0,037$) dos ácidos graxos na carne C14:1 (miristoléico), C16:1 (palmitoleico), C17:1

(heptadecenóico), C18:2 CLA (cis-9,trans-11, rumênico), C18:3 ω 3 (linolênico) e C20:1 (eicosenoico) em relação aos animais não suplementados (tabela 06). Não foram observadas diferenças entre os grupos de animais em relação ao somatório, atividade enzimática, índices e relações entre os ácidos graxos apresentados na tabela 6, apesar de alterações importantes terem sido observadas para os ácidos graxos analisados individualmente em relação aos animais suplementados com 3-NOP (Tabela 7).

6. DISCUSSÃO

Bovinos Nelore alimentados com dietas suplementadas com 3-NOP não apresentaram redução no desempenho animal além de reduzir a emissão de CH₄ entérico, confirmando a hipótese de que o 3-NOP é um inibidor da metanogênese (ARAÚJO et al., 2023), a capacidade do 3-NOP foi confirmado em estudos anteriores em bovinos de corte (VYAS et al. 2016a; ROMERO-PEREZ et al. 2014, 2015; ALEMU et al. 2021) e outros (HRISTOV et al. 2015; HAISAN et al. 2014; MARTINEZ-FERNANDEZ et al. 2014).

O comportamento ingestivo dos animais não indicou diferença entre os tratamentos, o efeito do tempo para as variáveis indica que os animais do grupo BV75 consumiram menor quantidade de kg por visita, mesmo visitando mais vezes o cocho e tendo um tempo de permanência menor que o os animais do grupo controle e do BV100, porém a redução da IMS em si não é preocupante se resultar no mesmo ganho de peso vivo do animal, o que indicaria melhoria na eficiência do uso da ração (ALMEIDA; HEGARTY; COWIE; 2021), entretanto, os efeitos encontrados de IMS (tabela 02) podem indicar que o aditivo utilizado, de alguma forma, influencia na palatabilidade ou saciedade, tendo em vista que na dentre os grupos que receberam o 3-NOP o BV100, recebendo 100mg/kg MS, teve uma IMS menor que os outros grupos experimentais.

Quando comparado o grupo controle com os grupos que receberam 3-NOP não foram observadas diferenças para a IMS, ou seja, sem comprometer o consumo, dados também corroborados por Lee et al. (2019) onde a ingestão de matéria seca dos animais entre o período de pré-preferência e de preferência, utilizando dieta controle e dieta com a adição de 100 mg/kg MS, não foi diferente, visto que mesmo que a IMS diminua ou apresente tendência a diminuir quando os níveis de suplementação de 3-NOP aumentam,

não apresentam efeitos adversos no desempenho animal (KIM et al., 2020), Vyas et al. (2016b) também não encontrou efeitos para a IMS de novilhos suplementados a 0, 50, 75, 100, 150 e 200 mg/kg MS de NOP, recebendo dietas distintas, ricas em forragens e dietas de alto grão. Entretanto quando avaliamos apenas os grupos que testaram as doses do aditivo, o grupo BV75 apresentou maior IMS em relação ao BV100, ou seja, foi observado uma queda na ingestão que pode estar relacionado a quantidade de 3-NOP adicionado a dieta, isso porque, de acordo com uma meta-análise de Kim et al. (2020) a IMS do banco de dados de gado de corte tendeu a diminuir quando os níveis de suplementação de NOP aumentaram. Alguns estudos mostram que o aumento da adição de 3-NOP pode influenciar na IMS (Romero-Perez et al., 2014), quando suplementado em 200 mg/kg MS reduziu a IMS durante a primeira fase do experimento e tendeu a reduzir a ingestão durante a fase de terminação comparada com as doses menores (100 mg/kg MS) (VYAS et al. 2016a), portanto, quando forem testados níveis e/ou doses de NOP, encontraremos uma diferença no consumo de ração dos animais, favorecendo as dosagens menores de adição.

Em relação ao desempenho entre os grupos experimentais, as diferenças encontradas do grupo controle em comparação com os grupos de 3-NOP indicam uma melhora no desempenho dos animais que receberam o aditivo, isso porque o peso final, GMD, PCQf e GMC tiveram valor superior, porém é importante ressaltar que entre os tratamentos BV75 e BV100 também foram encontradas diferenças significativas, o grupo BV100 obteve valores semelhantes ao grupo controle para PF, GMD e GMC, dessa forma os melhores valores de desempenho foram encontrados pelo grupo BV75, suplementados com 75 mg/kg MS de 3-NOP, entretanto a suplementação de 100 mg/kg MS de 3-NOP não prejudicou o desempenho, apenas se igualou ao desempenho do grupo controle, e pode indicar uma tendência de redução no desempenho conforme o aumento da inclusão de 3-NOP, embora Vyas et al. (2016a) não tenha encontrado efeito no GMD na primeira fase de seu estudo com 3-NOP, na fase de terminação o GMD tendeu a ser reduzido com 3-NOP, conforme o aumento da dose de 3-NOP fornecida. Os resultados encontrados no presente estudo diferem de alguns achados da literatura, um estudo mais recente de Araújo et al. (2023) utilizando 100 mg/kg MS e 150 mg/kg MS de 3-NOP não observou efeito negativo no GMD e GDC em nenhuma das doses utilizadas, Alemu et al. (2021) também não observou efeitos no ganho de peso total ou o GMD. Entretanto, o efeito na eficiência biológica do grupo controle vs. 3-NOP indica uma melhora da eficiência dos

animais que receberam o aditivo, mesmo o grupo BV100, que obteve valores semelhantes ao grupo controle, teve uma eficiência estatisticamente igual aos animais que tiveram maior desempenho, mesmo consumindo menos alimento que o CON, o ganho foi correspondente.

Como já citado, em Alemu et al. (2021) o 3-NOP tendeu a reduzir a IMS mas não alterou o peso e o GMD, conjuntamente melhorou a relação ganho:alimentação em 2,5%, Araújo et al. (2023) observou os tratamentos com 100 mg/kg MS e 150 mg/kg MS de 3-NOP aumentaram a eficiência do GDC em 4,8% e 3,5%, respectivamente, isto significa que o aumento da eficiência biológica no presente estudo está ligado aos mesmos fatores que influenciaram os estudos citados, que deve ser explicado através das alterações que o aditivo utilizado faz no ambiente ruminal, segundo Jayanegara et al. (2017) a melhoria da relação ganho:alimentação observada em bovinos de corte pode sugerir uma utilização mais eficiente de energia pelos animais através da redução da perda de energia através das emissões de CH₄, isso porque o aditivo atua nessa via de produção, o que pode explicar os dados do estudo em questão onde apesar da IMS ter sido inferior ao grupo controle, os animais do grupo BV75 apresentaram desempenho melhor, com o peso final, GMD e GMC superior, assim como pode explicar também a eficiência biológica do grupo BV100. O melhor desempenho dos animais que tiveram a inclusão de 3-NOP é provável devido a esse acúmulo de H₂ no ambiente ruminal, no estudo de Araújo et al. (2023) o 3-NOP reduziu drasticamente a ingestão de GE perdida como CH₄ em 42,5%, sendo mais eficiente energeticamente já que a produção de metano representa uma perda de energia, diminuindo a eficiência (MCALLISTER e NEWBOLD, 2008; ROMERO-PEREZ et al., 2014; VYAS et al., 2018; KIM et al. 2020).

Foi observado um efeito com a suplementação de 3-NOP, proporcionando menor emissão de metano em relação ao controle, os novilhos suplementados emitiram 38,2 % menos metano em comparação aos animais não suplementados, esse resultado era esperado devido ao mecanismo de ação do 3-NOP envolvendo o sítio ativo da MCR, inativando temporariamente a enzima e inibindo a metanogênese (DUIN et al., 2016; GRUNINGER et al., 2022; THAUER et al., 2008), ou seja, inibindo a formação de CH₄ (DUVAL e KINDERMANN, 2012). Os animais do grupo BV100 apresentaram menor emissão de metano (9%) em relação aos novilhos suplementados com BV75, o que condiz com a pesquisa de Djikstra et al. (2018) que afirma que a redução da produção de

CH₄ está diretamente ligada a dose fornecida aos animais, o que explica o porquê dos animais que receberam a dosagem maior emitirem menos metano, Vyas et al. (2016b) relata que a dose de 75 mg/kg MS e 100 mg/kg MS de 3-NOP não foram diferentes do controle e estatisticamente eram iguais na emissão de CH₄, porém as emissões tiveram maior redução com 200 mg/kg MS, tanto em dietas ricas em forragens, como as de alto grão, diferindo dos resultados encontrados nesse estudo. Já Araújo et al. (2023) utilizando 138 animais confinados forneceu duas doses de 3-NOP, 100 mg/kg MS e 150 mg/kg MS de 3-NOP, e observou que independentemente da dose de 3-NOP analisada, a suplementação dietética diminuiu as emissões de CH₄ em 49,3% (g/d) nos períodos de avaliação de CH₄, esses valores são maiores que os encontrados na presente avaliação utilizando a dose de 100 mg/kg MS de 3-NOP, entretanto, Alemu et al. (2021) em seu ensaio encontrou uma diminuição da produção de metano em 17,4, 28,8 e 28,1%, para 100 mg/kg MS de 3-NOP (7 a 10 dias), 150 mg/kg MS 3-NOP (7 dias) e 200 mg/kg MS de 3-NOP até o final do estudo, respectivamente, em comparação com o controle, concomitante com a diminuição de CH₄ houve um aumento das emissões de H₂.

Adicionalmente um outro efeito que foi observado junto com a redução na emissão de metano foi a emissão de hidrogênio (g/dia), a mesma foi 4,45 vezes maior para os novilhos suplementados com 3-NOP em comparação com o controle, que pode estar ligado ao processo de formação de CH₄, se inibimos o processo no ambiente ruminal pode ocorrer um aumento da concentração de H₂ (Jayanegara et al., 2017), GRUNINGER et al. (2022) observou um aumento de cerca de 37 vezes mais H₂ em bovinos suplementados com 3-NOP em comparação com o controle, ademais Alemu et al. (2021) também percebeu que com a diminuição na produção de CH₄ devido ao 3-NOP, houve um aumento concomitante na produção de H₂, que aumentou de 0,39 g/d do controle para 1,50 g/d (P < 0,001) para o 3-NOP em geral.

A adição de 3-NOP não encontrou efeitos para perdas por cozimento (PC), porém demonstrou efeitos sobre alguns parâmetros da qualidade da carne, dentre eles a capacidade de retenção de água (CRA), em que os novilhos suplementados com 3-NOP tiveram maior CRA em relação ao grupo controle, e a força de cisalhamento (FC), com efeitos positivos para os grupos suplementados com 3-NOP, discordando dos dados de Araújo et al. (2023) onde não foi observado significância entre os dados analisados para essas características com as dosagens de 100 e 150 mg/kg MS de 3-NOP, porém a perda

por cozimento do presente estudo foi consideravelmente maior que a encontrada na avaliação de Araújo et al. (2023), em outros estudos os valores encontrados de PC para a raça nelore também foi inferior (OLIVEIRA et al., 2021; TEIXEIRA et al., 2022), o que pode levar a crer em uma explicação pelas condições ambientais, manejo e refrigeração da carne no frigorífico, entretanto tais achados também podem ser explicados através da alta variabilidade na maciez da carne que é observada entre as populações Nelore, que geralmente incluem animais com carne macia e dura (MALHEIROS et al., 2020). As diferenças encontradas na CRA e FC indicam que a inclusão de 3-NOP podem afetar a qualidade da carne positivamente, mas ainda são necessários mais estudos para entender seu mecanismo e como influencia na deposição de músculo, vendo que as características sensoriais da carne, como maciez e suculência são de total interesse do consumidor.

Embora não tenha sido encontrado nenhum efeito na cor da carne entre os animais do grupo CON e os dos grupos com inclusão de 3-NOP, os valores de b^* ficaram bem abaixo dos encontrados por Araújo et al (2023) quando também testou as dosagens de 3-NOP, entretanto os achados descritos por Malheiros et al (2020) avaliando a qualidade de carne de bovinos da raça nelore mostram uma variação de 0.96 a 8.6 para b^* , o que condiz com o resultado entrado no presente estudo, porém pode existir uma variação grande desses dados (OLIVEIRA et al. 2021; TEIXEIRA et al. 2022) já que muitas vezes essa avaliação é influenciada por fatores externos, no entanto, os valores de a^* foram característicos da carne, semelhante aos dados encontrados por Monteiro et al. (2022), esse que é o parâmetro de cor que mais influencia na compra, sendo o mais importante para identificar uma “carne fresca”. A inclusão de 3-NOP provocou um aumento do teor de gordura na carne em relação ao controle, que não era esperado, os dados de Araújo et al. (2023) demonstram uma diminuição no teor de gordura da carne bovina em 23,8% com a adição de 3-NOP, explicado pela alteração na fermentação ruminal para um perfil mais propiônico, diminuindo a proporção de acetato (ROMERO-PEREZ et al., 2015a) que é associado a deposição de gordura, entretanto como os valores de EE da carne obtidos nesse estudo foram consideravelmente maiores que os obtidos pelo grupo CON, indicam que a alteração na fermentação com o uso do 3-NOP pode não estar completamente elucidada.

No que se refere a composição lipídica, a caracterização do perfil de ácidos graxos não apresentou valores que extrapolam os já encontrados na literatura (ANTONELO et

al. 2020; FREITAS et al., 2014), porém a composição lipídica da carne bovina, assim como a da gordura do leite, reflete o metabolismo ruminal dos lipídios da dieta (DEMEYER e DOREAU, 1999), nesse caso, pode ser influenciada pelos alimentos e por aditivos adicionados a dieta, nesse estudo a suplementação com 3-NOP demonstrou efeitos na concentração dos ácidos C14:1 (miristoléico), C16:1 (palmitoleico), C17:1 (heptadecenóico), C18:2 CLA (cis-9,trans-11, rumênico), C18:3 ω 3 (linolênico) e C20:1 (eicosenoico), mas sem diferenças para o somatório, relações de ácidos, atividade enzimática e índices do perfil de ácidos graxos. Ainda que não tenha sido significativo, o ácido oleico (C18:1), que detém a maior percentagem contida na carne (\pm 40%), acabou se destacando quando apresentou uma quantidade maior nesse estudo do que em outros ensaios com a raça nelore (FREITAS et al., 2014; TEIXEIRA et al., 2022), além de ser considerado um ácido graxo com função neutra, isso porque se transforma imediatamente em ácido oleico (C18:1 ω -9) e geralmente é correlacionado com uma redução dos níveis de colesterol (FREITAS, 2006). Em relação aos ácidos graxos que demonstraram efeito significativo, observamos que a molécula de 3-NOP pode ter interferido de alguma forma no processo de biohidrogenação, isso por que dos ácidos que apresentaram um efeito significativo, o ácido C18:2 cis-9 trans-11 que tem por produto final da biohidrogenação o ácido esteárico (C18:0) (BAUMAN et al., 2000), não influenciou na quantidade de ácido esteárico entre os tratamentos, ainda assim, o aumento na quantidade do ácidos C18:2 cis 9 trans 11 é benéfico, isso porque esse ácido e o C18:2 trans 10 cis 12 são conhecidos pelas suas propriedades anticarcinogênicas (PARODI, 1997), além de ser um ácido graxo poliinsaturado e é principal responsável pela atividade biológica do CLA (KRAMER et al., 1998).

Em relação ao somatório, relações, atividade enzimática e índices do perfil de ácidos graxos, Cruz e Tullio (2005) observou efeitos de três fatores estudados no perfil de AG, sendo eles, grupos genéticos, condição sexual e regime alimentar, comprovando que é possível alterar o perfil de ácidos graxos e suas relações para atender a demanda dos consumidores, porém, como no presente estudo não observamos diferenças nas relações e índices do perfil de ácidos graxos, indica que o 3-NOP não alterou e não possui efeito sobre esses índices ou que seja responsável pelo aumento ou decréscimo quando olhamos os dados de maneira geral e comparamos a caracterização do perfil de AG de outros estudos, já que o grupo CON obteve valores semelhantes aos animais dos grupos com inclusão de 3-NOP, considerando que os grupos eram compostos por animais com a

mesma condição sexual e grupo genético. Entretanto, outros índices podem ser de interesse, French et al. (2011) demonstrou que a alta ingestão de capim resultou em uma menor proporção de PUFA $\omega 6$: $\omega 3$ na gordura intramuscular de novilhos do que em novilhos similares alimentados com concentrados, validando os resultados encontrados nesse estudo, onde a relação $\omega 6$: $\omega 3$ apresentou valores superiores aos achados de French et al. (2011), esses valores são corroborados por Teixeira et al. (2022) que também obteve valores semelhantes na relação $\omega 6$: $\omega 3$, utilizando dietas com maior proporção de concentrados, a quantidade de AGMI e AGPI também está semelhante aos valores encontrados por Freitas et al. (2014) para bovinos confinados. Apesar das poucas diferenças encontradas para o perfil de ácidos graxos e das identificadas nas características de carcaça, mais estudos seriam necessários para compreender a influência do 3-NOP na fermentação ruminal e sua influência na composição química, lipídica e qualidade da carne de bovinos.

7.CONCLUSÃO

A alimentação com 3-nitrooxipropanol não prejudicou o desempenho animal, entretanto somente na inclusão de 75 mg/kg MS de 3-NOP melhorou o peso final, GMD e GMC. Houve uma redução das emissões de metano com as duas dosagens de 3-NOP utilizadas, sem afetar negativamente a qualidade da carne dos animais suplementados.

Portanto, concluímos que a dosagem de 75 mg/kg MS de 3-NOP se mostrou mais eficiente para confinamentos comerciais, reduzindo a emissão e melhorando o desempenho animal, sem prejudicar a qualidade de carne e características de interesse comercial de novilhos Nelore confinados.

REFERÊNCIAS

ABIEC. Beef Report: Perfil da Pecuária no Brasil - 2023. Cap. 03, 2023.

AOAC. Métodos oficiais de análise. 17ª Edição, Associação de Químicos Analíticos Oficiais, Gaithersburg, MD, EUA, 2000.

- ALEMU, A. W. et al. 3-Nitrooxypropanol Decreased Enteric Methane Production From Growing Beef Cattle in a Commercial Feedlot: Implications for Sustainable Beef Cattle Production. **Frontiers Animal Science**, v.2, e641590, 2021.
- ALLEONI, G. F. et al. O. Avaliação da Composição Química e Física dos Cortes da Costela para Estimar a Composição Química Corporal de Novilhos Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, p.382-390, 1997.
- ALMEIDA, A. K.; HEGARTY, R. S.; COWIE, A. Meta-Analysis Quantifying the Potential of Dietary Additives and Rumen Modifiers for Methane Mitigation in Ruminant Production Systems. **Animal Nutrition**, v.7, p.1219-1230, 2021.
- ANTONELO, D. S. et al. Performance, carcass traits, meat quality and composition of non-castrated Nelore and crossbred male cattle fed soybean oil. **Livestock Science**, v.236, p.104059, 2020.
- ARAÚJO, T. L. R. et al. Feeding 3-nitrooxypropanol Reduces Methane Emissions by Feedlot Cattle on Tropical Conditions. **Journal of Animal Science**, v. 101, p.1-11, 2023.
- ARRIGONI, M. B. et al. Níveis elevados de concentrado na dieta de bovinos em confinamento. **Vet. e Zootec**, v.20, n.4, p.539-551, 2013.
- BACH KNUDSEN, K. E. Carbohydrate and Lignin Contents of Plant Materials Used in Animal Feeding. **Animal Feed Science and Technology**, v.67, p.319-338, 1997.
- BAUMAN, D. E. et al. Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants. **Proceedings of the American Society of Animal Science**, 1999.
- BEAUCHEMIN, K. A. et al. Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. **Agricultural Systems**, v.103, p.371–379, 2010.
- CAÑEQUE, V.; SAÑUDO, C. Metodología para el Estudio de la Calidad de la Canal y de la Carne en Rumiantes. **Madrid: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología y Alimentaria**, p.255, 2005.
- CHIAIA, H. L. J. et al. Genomic prediction for beef fatty acid profile in Nelore cattle. **Meat Science**, v.128, p.60-67, 2017.

COCCO, J. M. Efeito da inclusão grão de girassol nas características da carcaça e carne de bovinos confinados. Dissertação. Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, RS. 2020.

CRUZ, G. M. D. Avaliação qualitativa e quantitativa da carcaça de bovino. In: ESTEVES, S.N.; BARBOSA, P. F.; BARBOSA, R.T. (Ed.). Intensificação da bovinocultura de corte: estratégias de alimentação e terminação. São Carlos, SP: EMBRAPA-CPPSE, 1997. p.58-75.

DEMEYER, D.; DOREAU, M. Targets and Procedures for Altering Ruminant Meat and Milk Lipids. **Proceedings of the Nutrition Society**, v.58, p.593–607, 1999.

DIJKSTRA, J. et al. Short communication: Antimethanogenic Effects of 3-nitrooxypropanol Depend on Supplementation Dose, Dietary Fiber Content, and Cattle Type. *Journal of Dairy Science*, v.101, p.1–7, 2018

DUIN, E. C. et al. Mode of Action Uncovered for the Specific Reduction of Methane Emissions from Ruminants by the Small Molecule 3-nitrooxypropanol. **PNAS**, v.113, p.6172-6177, 2016.

DUVAL, S.; KINDERMANN, M. Use of Nitrooxy Organic Molecules in Feed for Reducing Enteric Methane Emissions in Ruminants, and/or to Improve Ruminant Performance. International Patent Application WO 2012/084629 A1. Geneva, Switzerland: World Intellectual Property Organization, 2012.

FAO. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2022. Rome, 2022.

FERNANDES, A. R. M. Eficiência produtiva e características qualitativas da carne de bovinos Canchim terminados em confinamento. Tese. Universidade Estadual Paulista, UNESP, Jaboticabal, 2007.

FREITAS, A.K. Características da carcaça, da carne e perfil dos ácidos graxos de novilhos Nelore inteiros ou castrados em duas idades. 2006. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

FREITAS, A. K. et al. Nutritional composition of the meat of Hereford and Braford steers finished on pastures or in a feedlot in southern Brazil. **Meat Science**, v.96, p.353–360, 2014.

FRENCH, P. et al. Fatty acid composition, including conjugated linoleic acid, of intramuscular fat from steers offered grazed grass, grass silage, or concentrate-based diets. **Journal of Animal Science**, v.78, p.2849–2855, 2000.

GERBER, P.J. et al. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 2013.

GILL, M.; GARNSWORTHY, P. C.; WILKINSON, J. M. Review: More Effective Linkages Between Science and Policy are Needed to Minimize the Negative Environmental Impacts of Livestock Production. **Animal**, 2021, 15, 100291.

GREENWOOD, P. L. Review: An overview of beef production from pasture and feedlot globally, as demand for beef and the need for sustainable practices increase. **Animal**, v.15, n.1, 2021.

GRUNINGER, R. J. et al. Application of 3-nitrooxypropanol and Canola Oil to Mitigate Enteric Methane Emissions of Beef Cattle Results in Distinctly Different Effects on the Rumen Microbial Community. **Animal Microbiome**, v.4, p.35, 2022.

GUYADER, J.; UNGERFELD, E. M.; BEAUCHEMIN, K. A. Redirection of Metabolic Hydrogen by Inhibiting Methanogenesis in the Rumen Simulation Technique (RUSITEC). **Frontiers in Microbiology**, v.8, p.393, 2017.

HAI SAN, J. et al. The Effects of Feeding 3-nitrooxypropanol at Two Doses on Milk Production, Rumen Fermentation, Plasma Metabolites, Nutrient Digestibility, and Methane Emissions in Lactating Holstein Cows. **Animal Production Science**, v.57, p.282–289, 2017.

HAMMOND, K. J. et al. Methane Emissions from Cattle: Estimates from Short-term Measurements Using a GreenFeed System Compared with Measurements Obtained Using Respiration Chambers or Sulphur Hexafluoride Tracer. **Animal Feed Science and Technology**, v.203, p.41-52, 2015.

HENCHION, M. et al. Review: Trends for meat, milk and egg consumption for the next decades and the role played by livestock systems in the global production of proteins. **Animal**, v.15, 2021.

HRISTOV, A. N. et al. An Inhibitor Persistently Decreased Enteric Methane Emission from Dairy Cows with no Negative Effect on Milk Production. **PNAS**, v.112, p.10663-10668, 2015.

HUHTANEN, P.; RAMIN, M.; HRISTOV, A.N. Enteric methane emission can be reliably measured by the GreenFeed monitoring unit. **Livestock Science**, v.222, p. 31-40, 2019.

HUHTANEN, P. et al. Comparison of methods to determine methane emissions from dairy cows in farm conditions. **Journal Dairy Science**, v.98, p.3394–3409, 2015.

JANSSEM, P. H. Influence of hydrogen on rumen methane formation and fermentation balances through microbial growth kinetics and fermentation thermodynamics. **Animal Feed Science and Technology**, v.160, p.1–22, 2010.

JAYANEGARA, A. et al. Use of 3-nitrooxypropanol as Feed Additive for Mitigating Enteric Methane Emissions from Ruminants: a Meta-Analysis. **Italian Journal of Animal Science**, v.17, p.650-656, 2017.

JOSEPH, J. D.; ACKMAN, R. G. Capillary Column Gas-Chromatographic Method for Analysis of Encapsulated Fish Oils and Fish Oil Ethyl-esters - Collaborative Study. **Journal of AOAC International**, v.75, p.488-506, 1992.

KAZALA, E. C. et al. Relationship of Fatty Acid Composition to Intramuscular Fat Content in Beef from Crossbred Wagyu Cattle. **Journal of Animal Science**, v.77, p.1717-1725, 1999.

KEBREAB, E. et al. A Meta-Analysis of Effects of 3-nitrooxypropanol on Methane Production, Yield, and Intensity in Dairy Cattle. **Journal of Dairy Science**, v.106, p.927–936, 2022.

KIM, H. et al. The Effects of Dietary Supplementation with 3-nitrooxypropanol on Enteric Methane Emissions, Rumen Fermentation, and Production Performance in Ruminants: a Meta-Analysis. **Journal of Animal Science and Technology**, v.62, p.31-42, 2020.

KRAMER, J. K. G. et al. Rumenic acid: a proposed common name for the major conjugated linoleic acid isomer found in natural products. **Lipids**, v.33, p. 835, 1998.

LEAHY, S. C. et al. The Genome Sequence of the Rumen Methanogen *Methanobrevibacter ruminantium* Reveals New Possibilities for Controlling Ruminant Methane Emissions. **Plos One**, v.5, e8926, 2010.

LEE, C. et al. Short-Term Eating Preference of Beef Cattle Fed High Forage or High Grain Diets Supplemented with 3-Nitrooxypropanol. **Animal**, v.10, p.64, 2019.

LYNCH, J. Availability of disaggregated greenhouse gas emissions from beef cattle production: A systematic review. **Environmental Impact Assessment Review**, v.76, p.69–78, 2019.

LOPES, J. C. et al. Effect of 3-nitrooxipropanol on Methane and Hydrogen Emissions, Methane Isotopic Signature, and Ruminal Fermentation in Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.99, p.1–10, 2016.

LUPWAYI, N. Z. et al. Alteration of the Soil Microbiome and Enzyme Activities by Forage Applied Manure from Cattle Fed the Methane Inhibitor 3-nitrooxypropanol Supplement. **Applied Soil Ecology**, v.183, e104765, 2023.

MALAFAIA , G. C.; et al. The Brazilian beef cattle supply chain in the next decades. **Livestock Science**, v.253, 2021.

MALAU-ADULI, A. E. O. et al. A Comparison of the Fatty Acid Composition of Triacylglycerols in Adipose Tissue from Limousin and Jersey Cattle. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.48, p.715-722, 1997.

MALHEIROS, J. M. et al. Carcass and Meat Quality of Nellore Cattle (*Bos taurus indicus*) Belonging to the Breeding Programs. **Livestock Science**, v.242, e104277, 2020.

MARTÍNES-FERNÁNDEZ, G. et al. Effects of Ethyl-3-nitrooxy Propionate and 3-nitrooxypropanol on Ruminal Fermentation, Microbial Abundance, and Methane Emissions in Sheep. **Journal of Dairy Science**, v.97, p.3790–3799, 2014.

MARTÍNES-FERNÁNDEZ, G. et al. 3-NOP vs. Halogenated Compound: Methane Production, Ruminal Fermentation and Microbial Community Response in Forage Fed Cattle. **Frontiers in Microbiology**, v. 09, e1582, 2018.

MCALLISTER, T. A.; NEWBOLD, C. J. Redirecting Rumen Fermentation to Reduce Methanogenesis. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.48, p.7–13, 2008.

- MELGAR, A. et al. Dose-response effect of 3-nitrooxypropanol on enteric methane emissions in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.103, p.6145-6156, 2020.
- MIR, P. S. et al. Dietary manipulation to increase conjugated linoleic acids and other desirable fatty acids in beef: A review. **Canadian Journal of Animal Science**, 2003.
- MONTEIRO, P. A. M. et al. 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**, v.256, e104829, 2022.
- OLIVEIRA, P. R. O. et al. Carcass and meat characteristics of feedlot finished nelore cattle and their crossbreeds in the Brazilian Pantanal. **Livestock Science**, v.244, e104360, 2021.
- OSÓRIO, J. C. S.; OSÓRIO, M. T. M.; SILVA SOBRINHO, A. Morfologia e Avaliação de Carcaças Ovinas. In: Silva Sobrinho, A.; Sañudo, C.; Osório, J. C. S.; Campo, Osório, M. T. M. Produção de Carne Ovina. Jaboticabal: Editora Funep, 2008. 228 p.
- PARODI, P. W. Cow's milk fat components as potential anticarcinogenic agents. **Journal of Nutrition**, v. 127, p. 1055-1060, 1997.
- PITCHFORD, W. S. et al. Genetic Variation in Fatness and Fatty Acid Composition of Crossbred Cattle. **Journal of Animal Science**, v.80, p.2825-2832, 2002.
- PRAKASH, D. et al. Elucidating the Process of Activation of Methyl-Coenzyme M Reductase. **Journal of Bacteriology**, v.196, p.2491-2498, 2014.
- PULINA, G. et al. Animal board invited review – Beef for future: technologies for a sustainable and profitable beef industry. **Animal**, v. 15, ed. 11, 2021.
- RAGSDALE, S. W. et al.. Biochemistry of methylcoenzyme M reductase. In Biological Chemistry of Nickel (Zamble, D., Rowinska-Zyrek, M., and Koslowski, Eds.). **Royal Society of Chemistry**, v.8, p.149–169, 2017.
- ROMERO-PEREZ, A. et al. The Potential of 3-nitrooxypropanol N to Lower Enteric Methane Emissions from Beef Cattle. **Journal of Animal Science**, v.92, p.4682-4693, 2014.

- ROMERO-PEREZ, A. et al. Sustained Reduction in Methane Production from Long-Term Addition of 3-nitrooxypropanol to a Beef Cattle Diet. **Journal of Animal Science**, v.93, p.1780–1791, 2015a.
- ROMERO-PEREZ, A. et al. Effects of 3-nitrooxypropanol on Methane Production Using the Rumen Simulation Technique (Rusitec). **Animal Feed Science and Technology**, v.209, p.98–109, 2015b.
- SILVA, M. L. P. Desempenho e qualidade da carne de bovinos cruzados alimentados com diferentes dietas em confinamento. Tese. Universidade Estadual Paulista, UNESP, Jaboticabal, 2016.
- SIMÕES, J. et al. Editorial: Sustainable livestock systems for high-producing animals. **Animal**, v.15, e100371, 2021.
- TEIXEIRA, P. D. et al. Fatty acid profile and beef quality of Nellore and Angus bulls fed whole shelled corn. **Scientia Agricola**, v.79, n.2, 2022.
- THAUER, R. K.; BONACKER, L. G. Biosynthesis of coenzyme F430, a nickel porphyrinoid involved in methanogenesis. **Ciba Foundation Symposium**, v.22, p.180:210, 1994.
- THAUER, R. K. et al. *Methanogenic archaea*: Ecologically Relevant Differences in Energy Conservation. **Nature Reviews Microbiology**, v.6, p.579–591, 2008.
- THIEL, A. et al. 3-NOP: Mutagenicity and Genotoxicity Assessment. **Food and Chemical Toxicology**, v.123, p.566–573, 2019.
- ULBRICHT, T. L. V.; SOUTHGATE, D. A. T. Coronary Heart Disease: Seven Dietary Factors. **Lancet**, v.338, p.985-992, 1991.
- UNFPA, Fundo de População das Nações Unidas. Relatório Situação da População Mundial, 2023.
- UNGERFELD, E. M. Shifts in metabolic hydrogen sinks in the methanogenesis-inhibited ruminal fermentation: a meta-analysis. **Frontiers in Microbiology**, v. 06 (37), p.1-17, 2015.
- USDA. Foreign Agricultural Service: Livestock and Products Annual. 2023.
- USDA. Livestock and Products: Livestock and Products Semi-annual. 2023.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and non Starch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, p.3583-3597, 1991.

VRIES, M.; MIDDELAAR, C. E.; BOER, I. J. M. Comparing environmental impacts of beef production systems: A review of life cycle assessments. **Livestock Science**, v.178, p. 279–288, 2015.

VYAS, D. et al. Effects of Sustained Reduction of Enteric Methane Emissions with Dietary Supplementation of 3-nitrooxypropanol on Growth Performance of Growing and Finishing Beef Cattle. **Journal of Animal Science**, v.94, p.2024–2034, 2016a.

VYAS, D. et al. Optimal Dose of 3-nitrooxypropanol for Decreasing Enteric Methane Emissions from Beef Cattle Fed High-Forage and High-Grain Diets. **Animal Production Science**, v.58, p.1049-1055, 2016b.

VYAS, D. et al. The Combined Effects of Supplementing Monensin and 3-nitrooxypropanol on Methane Emissions, Growth Rate, and Feed Conversion Efficiency in Beef Cattle Fed High-Forage and High-Grain Diets. **Journal of Animal Science**, v.96, p.2923-2938, 2018.

ZHANG, X. M. et al. 3-Nitrooxypropanol Supplementation had Little Effect on Fiber Degradation and Microbial Colonization of Forage Particles when Evaluated Using the *in situ* Ruminant Incubation Technique. **Journal of Dairy Science**, v.103, p.8986–8997, 2019.