

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
FACULDADE DE LINGUAGEM, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E SOCIAIS APLICADAS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PONTES E LACERDA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ZOOTECNIA

JOSÉ VENANCIO RODRIGUES FERREIRA

**ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DE METANO ENTÉRICO EM DIFERENTES
SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE BOVINOS À PASTO: REVISÃO**

PONTES E LACERDA – MT
NOVEMBRO/2024

JOSÉ VENANCIO RODRIGUES FERREIRA

**ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DE METANO ENTÉRICO EM DIFERENTES
SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE BOVINOS À PASTO: REVISÃO**

“Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a Coordenação do Curso de Graduação em Zootecnia da Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências para obtenção do título de BACHAREL EM ZOOTECNIA”.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Aline Barros da Silva
Morenz

PONTES E LACERDA – MT
NOVEMBRO/2024

JOSÉ VENANCIO RODRIGUES FERREIRA

**ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DE METANO ENTÉRICO EM DIFERENTES
SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE BOVINOS À PASTO: REVISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a
Coordenação do Curso de Graduação em
Zootecnia da Universidade do Estado de Mato
Grosso, como parte das exigências para obtenção
do título de Bacharel em Zootecnia.

APROVADO EM: 22 / 11 /2024.

Documento assinado digitalmente
 **ALINE BARROS DA SILVA MORENZ**
Data: 05/12/2024 19:40:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Aline Barros da Silva Morenz
Orientadora/UNEMAT-Pontes e Lacerda

Documento assinado digitalmente
 **DANILO ANTONIO MORENZ**
Data: 06/12/2024 17:50:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Danilo Antônio Morenz
Membro/UNEMAT-Pontes e Lacerda

Documento assinado digitalmente
 **JOCILAINE GARCIA**
Data: 06/12/2024 11:56:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Jocilaine Garcia
Membro/UNEMAT-Pontes e Lacerda

Dedico esse trabalho de conclusão de curso à minha família, que sempre estiveram ao meu lado que me apoiaram e incentivavam a estudar e seguir meus sonhos trilhando sempre o caminho correto. A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, estiveram ao meu lado e me ajudaram ao longo dessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me amparado e me abençoado até aqui. Agradeço, à minha mãe, que sempre acreditou em mim e nos meus irmãos, incentivando-nos a buscar nossos sonhos e nunca desistir. Ao meu pai, pelo apoio.

Minha gratidão à minha irmã Flávia, que foi fundamental ao me incentivar a entrar na escola agrícola, onde minha vida acadêmica teve início e minha paixão por esta área se fortaleceu. Aos meus irmãos Flávio e Fábio, que sempre estiveram ao meu lado, apoiando e dividindo comigo cada conquista e desafio. Agradeço à minha irmã Fabiane, que me incentivou, me ajudou e serviu de exemplo para que eu trilhasse o curso de Zootecnia

Agradeço a todos os professores e colaboradores da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) em Pontes e Lacerda, especialmente à minha orientadora e professora Doutora Aline Barros, pela paciência, dedicação e conhecimento compartilhado ao longo deste percurso. E ao Professor Danilo Morenz e a Professora Jocilaine Garcia, por terem aceitado participar da minha banca.

Ao IFMT Campus Cáceres, por ter sido um marco na minha formação, lugar que ampliou minha visão para a vida universitária. Agradeço também a todos os amigos e colegas da faculdade, em especial Altair que além de colega virou um grande amigo, Ana Cristina que estudamos juntos desde 2017 no IFMT. E a todos aqueles que, mesmo não estando mencionados aqui, contribuíram de alguma forma para esta jornada, meu agradecimento e reconhecimento por cada gesto de apoio, amizade e incentivo.

*“Faça o teu melhor nas condições que você tem, enquanto você não tem condições melhores para
fazer melhor ainda.”*

(Mario Sergio Cortella)

RESUMO

O metano entérico é um gás liberado através da eructação dos ruminantes, principalmente aqueles criados em sistema à pasto. Atualmente, a pecuária é considerada a atividade que mais contribui na produção CH_4 , fato este preocupante principalmente para os Estados brasileiros com maior produção de gado de corte. Contudo, existem práticas e processos para redução da produção do metano. O objetivo do trabalho é realizar uma revisão sobre as principais estratégias para reduzir a produção do metano entérico principalmente em animais criados a pasto. Para isso foi realizada uma ampla pesquisa em artigos, sites e livros com publicações recentes a respeito do metano entérico. O Brasil é o maior produtor comercial de bovinos do mundo, e criados principalmente em sistema de pastejo, desta forma, o setor agropecuário vem fortemente sendo criticado por contribuir com aumento das emissões de gases efeito estufa, em especial o gás metano (CH_4), com potencial causador do aquecimento global, inclusive maior que o dióxido de carbono. Entre os sistemas de produção de bovinos, o extensivo contribui com a maior emissão de metano, enquanto o sistema intensivo é que produz menos, principalmente porque neste sistema o ciclo de produção é curto uma vez que se emprega alimentos de melhor digestibilidade como pastagens bem manejadas, e até utilização de alimentos concentrados na dieta, como consequência um animal tem um maior desempenho e um ciclo mais curto, assim produzindo menos metano. Diante deste cenário, estratégias vêm sendo desenvolvidas ao longo dos anos afim de reduzir a produção de metano para amenizar os gases poluentes, assim como intensificar a produção animal de forma sustentável. As estratégias são baseadas principalmente em mudanças no manejo nutricional, como melhora na qualidade das forragens, mudanças na dieta, como adição maiores quantidades de concentrado, utilização de aditivos e outros componentes, que ao serem adicionados na dieta pode-se modificar ou diminuir a produção de microrganismos no rúmen, responsáveis pelo aumento na produção de gases de efeito estufa. Além de contribuir para a produtividade, fazendo com que os bovinos tenham um maior desempenho e produzam menos metano por quilo de carne.

Palavras-chave: Gases de efeito estufa. Microrganismos ruminais. Sustentabilidade na pecuária.

ABSTRACT

Enteric methane is a gas released through the eructation of ruminants, especially those raised on pasture. Currently, livestock farming is considered to be the activity that contributes most to CH₄ production, a fact that is particularly worrying for the Brazilian states with the highest beef cattle production. However, there are practices and processes to reduce methane production. The aim of this paper is to review the main strategies for reducing enteric methane production, especially in pasture-raised animals. To this end, a wide-ranging search was carried out in articles, websites and books with recent publications on enteric methane. Brazil is the world's largest commercial producer of cattle, which are mainly grazed. The agricultural sector has been heavily criticized for contributing to an increase in greenhouse gas emissions, especially methane gas (CH₄), which has the potential to cause global warming, even more than carbon dioxide. Among the cattle production systems, the extensive system contributes the most methane emissions, while the intensive system produces the least, mainly because in this system the production cycle is short since better digestible foods are used, such as well-managed pastures, and even the use of concentrated foods in the diet, as a result of which the animal performs better and has a shorter cycle, thus producing less methane. Faced with this scenario, strategies have been developed over the years to reduce methane production in order to mitigate polluting gases, as well as to intensify animal production in a sustainable way. The strategies are mainly based on changes in nutritional management, such as improving the quality of forage, changes in the diet, such as adding greater quantities of concentrate, using additives and other components, which when added to the diet can modify or decrease the production of microorganisms in the rumen, responsible for the increase in greenhouse gas production. In addition to contributing to productivity, cattle perform better and produce less methane per kilo of meat.

Keywords: Greenhouse gases. Rumen microorganisms. Sustainability in livestock farming.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 CENÁRIO DA PECUÁRIA BRASILEIRA	12
2.2 METANO ENTÉRICO.....	14
2.3 SISTEMAS DE PRODUÇÃO NA BOVINOCULTURA DE CORTE	16
2.3.1 Sistema extensivo	17
2.3.2 Sistema semi-intensivo	21
2.3.3 Sistema intensivo	22
2.4 PRÁTICAS DE MITIGAÇÃO DO METANO ENTÉRICO.....	24
2.4.1 Mudanças no manejo nutricional.....	25
2.4.2 Utilização de ionóforos	26
2.4.3 Ácidos orgânicos	28
2.4.4 Taninos e saponinas.....	29
2.4.5 Utilização de gorduras	30
2.4.6 Vacina metanogênica.....	32
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

A pecuária brasileira atualmente tem um destaque no cenário mundial, por deter do maior rebanho comercial do mundo, com 238 milhões de cabeças (IBGE, 2023). O que tem impulsionado cada vez mais a cadeia produtiva da bovinocultura, o que torna o país um forte produtor de proteína animal global.

No estado do Mato Grosso, a pecuária é uma das atividades mais importantes do agronegócio, com um rebanho bovino de 34 milhões de cabeças, sendo os municípios com maior rebanho o de Cáceres, com 1.399.931 de cabeças, seguido de Vila Bela com 1.134.427 de cabeças, em sétima colocação está o município de Pontes e Lacerda com, aproximadamente, 709.538 cabeças (IBGE, 2023).

Apesar do reconhecimento da importância da agropecuária na produção de alimentos e geração de renda, atualmente muito se discute sobre o impacto ambiental das atividades pecuárias e agrícolas, principalmente relativo às mudanças climáticas. A pecuária brasileira vem sendo alvo de críticas por emitir quantidades significativas de gases de efeito estufa por quilo de carne e/ou de leite produzidos, baseadas nos baixos índices zootécnicos, como intervalo entre partos e índice de prenhez, aumento de áreas de pastagens degradadas e baixo potencial de produção (Machado *et al.*, 2011). Neste cenário, a pecuária bovina vem sendo responsabilizada pelo desmatamento e a poluição ambiental (Rivero *et al.*, 2009).

Os gases de efeito estufa são responsáveis pelo aquecimento global, uma vez que absorvem e emitem novamente a radiação infravermelha no planeta. Segundo o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2022), os principais gases de efeito estufa emitidos no Brasil são: dióxido de carbono (1.556.732.932 toneladas), metano (20.572.404 toneladas) e o óxido nitroso (664.691 toneladas). Deste quantitativo, o Estado do Mato Grosso foi responsável por emitir 110.642 toneladas de óxido nitroso (N₂O), 300.611.424 toneladas de dióxido de carbono (CO₂) e 2.570.539 toneladas de metano (CH₄), sendo destes, 94.942; 6.692.621 e 2.171.661 toneladas de N₂O, CO₂ e CH₄, respectivamente, provenientes apenas do setor agropecuário.

O Mato Grosso é o Estado apontado em segundo lugar entre os Estados brasileiros responsáveis pela liberação de metano, logo atrás do Pará, enquanto Pontes e Lacerda está na decima sétima colocação dentre os municípios de MT, posição essa que se encontra devido ser o Estado possuidor do maior rebanho do Brasil, sendo produzido principalmente a pasto (SEEG, 2023).

Atualmente, a produção pecuária passa por grandes pressões das comunidades nacional e internacional para mitigar gases de efeito estufa, uma vez que é apontado por eles como o setor que mais contribui para o aquecimento global. Perante a situação, os produtores e toda cadeia produtiva de corte que tomam consciência buscam alternativas para reduzir a emissão de GEE, como exemplo, as parcerias com órgãos de pesquisas, como Embrapa e universidades, para minimizar as emissões através de técnicas mais sustentáveis de produção (Oliveira *et al.*, 2017).

Na pecuária, a principal fonte poluente é o metano entérico dos ruminantes, produzido pelos microrganismos metanogênicos que pertencem ao domínio da Archaea. A produção de metano é influenciada principalmente pela alimentação ingerida, como a ingestão de carboidratos fibrosos, principalmente a celulose e a hemicelulose (Maia *et al.*, 2007). A emissão de metano entérico ocorre principalmente para manter a manutenção e adequado equilíbrio do ambiente ruminal com eliminação via processo de eructação, liberando principalmente o Hidrogênio livre no rúmen (Lyu *et al.*, 2018).

Essa revisão discorre as principais estratégias que vêm sendo utilizadas e estudadas, para reduzir a emissão de Metano entérico em bovinos de corte, como a utilização de taninos, saponinas, ácidos orgânicos, ionóforos, lipídeos e também vacinas. Focando principalmente na mudança no manejo nutricional no qual interfere direta e indiretamente na emissão de metano e no desempenho animal. Pois a emissão de metano varia de acordo com a qualidade e quantidade de alimento ingerido, influenciados principalmente pelas diferentes modalidades de sistemas de criação dos animais domésticos (sistema intensivo, semi-intensivo e o sistema extensivo), o que explica a variabilidade nos níveis de emissão de metano. Dessa forma, alternativas para redução de metano estarão ligadas ao manejo alimentar, às estratégias nutricionais e até utilização de vacinas.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é realizar uma revisão de literatura sobre as principais estratégias de mitigação do metano entérico que são adotados na criação de bovinos de corte em diferentes sistemas de produção à pasto.

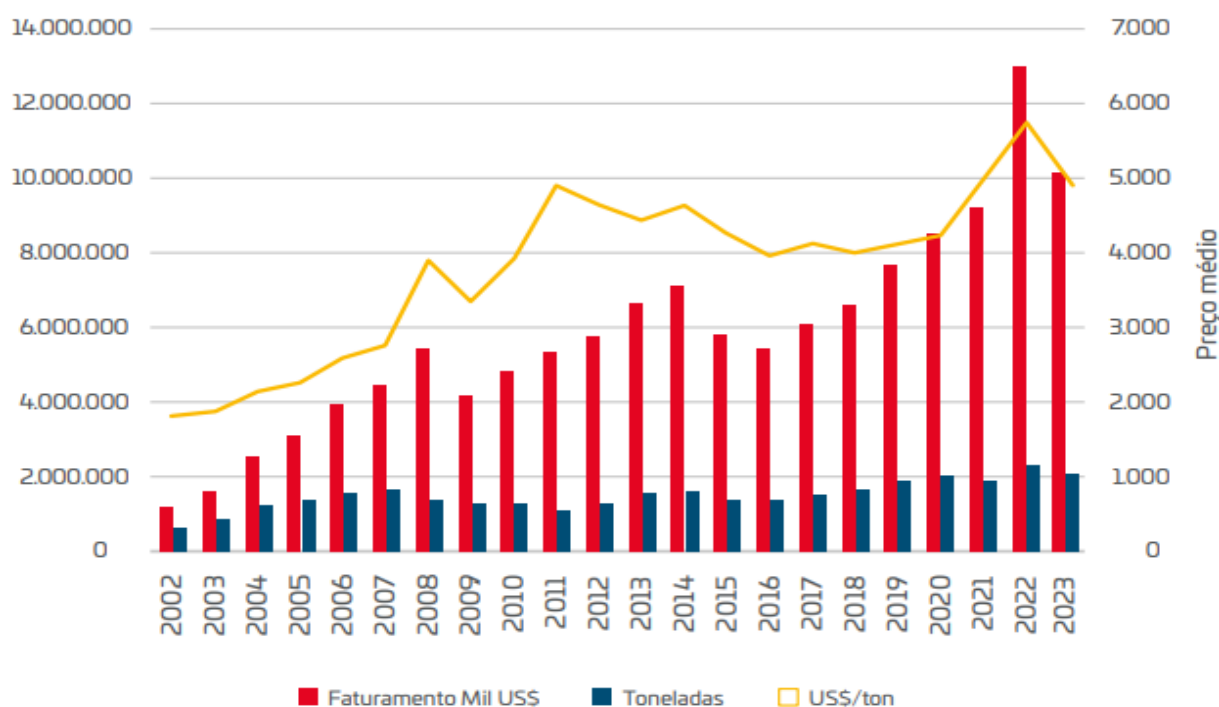
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CENÁRIO DA PECUÁRIA BRASILEIRA

A pecuária Brasileira se destaca principalmente na produção de leite, corte e geração de seus derivados, onde alcança altos níveis de produção nacional e maior exportador, e tendo uma alta constante dentro deste cenário (ABIEC, 2024).

O Brasil é o maior fornecedor de carne do mundo e tem representado o seu importante papel na segurança alimentar, garantindo qualidade da carne bovina, onde tem um rigoroso padrão sanitário para ser produzida e levada para o mundo todo, resultado de um exercício de melhoria contínua envolvendo milhares de profissionais em todos os elos do setor (Carvalho; Zen, 2017).

Segundo a ABIEC (2024), em uma projeção do cenário comparativo das exportações de carne brasileira entre 2002 e 2023, verificou-se que o Brasil atingiu um novo recorde em volume no ano de 2023, embora o faturamento tenha sido 18% menor comparado com 2022. Isso porque houve uma reacomodação no mercado internacional no pós-pandemia e os preços médios mundiais caíram (Figura 1).



Linha amarela: indica o preço médio em dólares por tonelada; Barras vermelhas e azuis: faturamento em milhões de dólares e o volume exportado em toneladas, respectivamente.

Figura 1: Evolução das exportações brasileiras de carne bovina de 2002 a 2023.

Fonte: ABIEC (2024)

O Mato Grosso é o Estado brasileiro que possui a maior quantidade de animais, com rebanho de bovinos significativo, com destaque para o município de Cáceres, seguido de Vila bela da Santíssima Trindade (IBGE, 2023), conforme verificado na Tabela 1.

Tabela 1- Principais municípios com maior número de animais do Estado de Mato Grosso.

Colocação	Municípios do Mato Grosso	Quantidade
1°	Cáceres	1.399.931
2°	Vila Bela da Santíssima Trindade	1.134.427
3°	Juara	963.851
4°	Colniza	863.182
5°	Juína	827.774
6°	Alta Floresta	753.449
7°	Pontes e Lacerda	709.538
8°	Nova Bandeirantes	674.937
9°	Porto Esperidião	663.778
10°	Aripuanã	609.108

Fonte: IBGE (2023)

Em 2022, o Brasil também liderou o ranking de maior exportador de carne bovina do mundo, seguido dos Estados Unidos e Austrália e os Países aonde são destinados a carne bovina Brasileira são principalmente China e Estados Unidos (Tabela 2). Os motivos que levaram a posição de destaque do Brasil seria sua indústria desenvolvida, maior área territorial, clima variável que possibilita produção de diferentes espécies forrageiras (ABIEC, 2024).

Tabela 2- Maiores importadores da carne bovina brasileira.

País	Quantidade (ton)	Ranking
China	1.199.059	1°
Estados Unidos	138.669	2°
Hong Kong	119.035	3°
Chile	100.542	4°
União Europeia	77.687	5°
Emirados Árabes Unidos	76.901	6°
Egito	72.632	7°
Rússia	58.863	8°
Filipinas	56.222	9°
Arábia Saudita	48.414	10°
Outros	348.145	11°

Fonte: Adaptado de Abiec (2024).

Além disso, foi observado nos últimos anos aumento no número de bovinos confinados, conforme verificado o crescimento de 0,4 milhões de cabeças entre 2021 e 2022 (ABIEC, 2023). Com isso, percebe-se uma progressão no cenário pecuário brasileiro, obtido principalmente pelo empenho dos profissionais do setor, em que esse crescimento possibilita impactos ainda maiores na sociedade com a geração de mais empregos, além de auxiliar no PIB do país, e possibilidades de ter a posição de destaque do Brasil como principal fornecedor de proteína animal para o mundo.

2.2 METANO ENTÉRICO

Os gases de efeito estufa vem contribuindo muito para o aquecimento global, dentre esses gases como o metano CH_4 , tem potencial de aquecimento global 25 vezes maior que o CO_2 com tempo de vida na atmosfera de 9 a 15 anos (Assad *et al.*, 2019; Tseten *et al.*, 2022).

No processo de fermentação, são gerados diversos compostos, que são fundamentais para a nutrição e o metabolismo do animal. Entre os produtos da fermentação estão os ácidos graxos de cadeia curta (Ácido acético, ácido propiônico e ácido butírico-AGCC), dióxido de carbono (CO_2), Hidrogênio (H_2), Amônia (NH_3), proteínas microbianas, vitaminas do complexo B, ácido láctico, além do metano (Carega; Dantas, 2017; Ribeiro; Gobetti, 2018).

O metano entérico é produzido no rúmen dos bovinos durante a fermentação dos carboidratos fibrosos, principalmente a celulose e a hemicelulose, e é produzida com a ação de microrganismos. Nesse processo, os carboidratos convertidos em ácidos graxos de cadeia curta, liberam hidrogênio (H_2) e dióxido de carbono (CO_2). As arqueas metanogênicas utilizam o CO_2 e o H_2 para produzir metano (CH_4) (Maia *et al.*, 2007).

A metanogênese é importante para o trabalho ruminal e a nutrição animal, mesmo que os metanógenos compreendam apenas uma pequena parte da biomassa microbiana do rúmen (Miranda *et al.*, 2024). O metano produzido em sistemas de produção de bovinos origina-se, principalmente, da fermentação entérica (85 a 90%), sendo o restante produzido a partir dos dejetos destes animais (Ribeiro *et al.*, 2015).

A fermentação em ruminantes envolve processo oxidativo, gerador de cofatores reduzidos (NADH, NADPH e FADH). Para que o processo fermentativo não seja paralisado, esses cofatores são então reoxidados (NAD^+ , NADP^+ e FAD^+) por meio de reações de desidrogenação, liberando hidrogênio no rúmen (Camerro, 2016).

Durante o processo de aceptor de elétrons, a metanogênese retira continuamente o gás Hidrogênio (H_2) do meio. Com isso, a formação de metano é essencial para o bom desempenho do ecossistema ruminal, pois evita o acúmulo de H_2 no rúmen, o que poderia levar à inibição da atividade desidrogenase, envolvida na reoxidação dos cofatores reduzidos (Mombach *et al.*, 2016). A redução eficiente do H_2 do rúmen contribui para o aumento da taxa de fermentação pela eliminação do seu efeito inibitório na degradação microbiana de materiais vegetais (Machado *et al.*, 2011).

Os resultados da fermentação ruminal não são equivalentes em termos de produção de H_2 , sua quantidade depende da concentração de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) e da razão relativa entre acetato, propionato e butirato (Silva, 2015). Existem duas causas para a variação na produção de metano: a quantidade de carboidratos fermentados no rúmen e a proporção de propionato e acetato produzido, pois o propionato utiliza hidrogênio durante sua formação, reduzindo a quantidade disponível para as Arqueas (Codognoto *et al.*, 2014).

Conforme o balanço estequiométrico, para a conversão de um mol de glicose em acetato e butirato (AGCC) produzirá o H_2 . Porém, se o H_2 não for removido, levará a redução ou até mesmo vai inibir os sistemas enzimáticos (NADH), e consequentemente vão reduzir a fermentação. Por tanto, ao se produzir acetato e butirato, haverá maior produção de metano para reduzir a concentração do H_2 e manter o equilíbrio no ambiente ruminal (Johnson; Johnson, 1995; Moss; Jouany; Newbold, 2000; Jarvis *et al.*, 2000) (Tabela 3).

Tabela 3. Balanço estequiométrico da conversão de glicose em ácidos graxos de cadeia curta.

Substrato	Produtos	ΔH (kcal/mol)
Glicose	2 Acetato + 2 CO_2 + 8 H	-251
Glicose	Butirato + 2 CO_2 + 4 H	-118
Glicose + 4H	2 Propionato	+60
Glicose	2 Lactato	-16

Fonte: Adaptado de Kozloski (2002).

Na pecuária, a produção de metano é maior nos ruminantes, uma vez que os metanógenos são capazes de produzir metano livremente através do processo normal de digestão dos alimentos (Hook *et al.*, 2010). Entre os ruminantes domésticos, os bovinos são responsáveis por cerca de 74% da produção total de metano (CH_4), conforme verificado na Tabela 4.

Tabela 4 - Porcentagem da quantidade de produção de metano (CH₄), entre os ruminantes domésticos.

Ruminantes Domésticos	Produção de Metano (CH ₄) em %
Bovinos	74
Búfalos	11,3
Ovelhas	6,36
Cabras	4,86

Fonte: Adaptado de Patra (2014).

Os alimentos fibrosos (exemplo as forragens) que possuem um alto teor de fibra em detergente neutro (FDN) celulose e hemicelulose, que são fermentados mais lentamente pelas populações microbianas resultando na produção predominante de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), especialmente ácido acético, o que favorece a geração de hidrogênio (H₂), essencial para a metanogênese realizada pelas Archaea metanogênicas com maior perda energética (Botero *et al.*, 2013).

A perda da energia da dieta varia de 2 a 12 % (energia bruta), em que é eructada como metano e poderia ter sido utilizada para aumentar a eficiência animal. Portanto, uma redução na emissão de metano entérico dos ruminantes poderia melhorar o desempenho animal, ao mesmo tempo promover a sustentabilidade no sistema de produção (Tseten *et al.*, 2022).

2.3 SISTEMAS DE PRODUÇÃO NA BOVINOCULTURA DE CORTE

A pecuária de corte Brasileira possui várias modalidades de sistemas de produção, caracterizados pelo nível de tecnologia empregado, sendo considerados como extremos: o sistema extensivo, sendo aquele que adota menor tecnologia, com forrageiras naturais (pastagens nativas) de baixa produtividade e pouco uso de insumos; e o sistema intensivo, caracterizado com pastagens com alta produtividade, boa suplementação a pasto e confinado, adoção do máximo de tecnologia (Barbero *et al.*, 2021). O grau de adoção de tecnologia é dependente dos aspectos sociais, econômicos e culturais, que impactam de forma decisiva na escolha do sistema de criação.

Um dos principais fatores que diferenciam os sistemas de produção é a alimentação (Primavesi *et al.*, 2004). Conforme verificado no sistema extensivo, utiliza-se somente

pastagens naturais e com pouca tecnologia de manejo, uso de suplementação mineral, quando utilizada, apenas em alguns casos.

Enquanto nos sistemas intensivos, adoção tecnológica é maior, em criações a pasto é utilizado espécies forrageiras mais especializadas, com melhor valor nutricional e de boa produção, os animais recebem também suplementação. Quanto a criação é confinada, os animais recebem dieta balanceada no cocho, e nesta modalidade é dependente de uma melhor infraestrutura (Martins, 2019).

No entanto, qualquer que seja o sistema de produção, o que mais predomina na criação de bovinos é a criação em pastagens. Ainda neste contexto, independente do sistema utilizado, raças zebuínas são as mais adotadas, em especial a nelore (Cezar *et al.*, 2005). A preferência de utilização das raças zebuínas vem principalmente de sua rusticidade, bem como a sua maior aclimação ao clima tropical, resistência a doenças e boa produção de carne (Barbosa *et al.*, 2014; Freitas; Costa, 2023). A produção de bovinos possui três fases distintas: cria, recria e engorda (Sversutt; Yada, 2019).

A fase de cria compreende desde a reprodução até a obtenção do bezerro desmamado, que ocorre geralmente entre sete e oito meses de idade (Vaz; Lobato, 2010). Enquanto, a fase de recria começa após a desmama e estende até o início da fase de engorda, no caso das fêmeas, no início da reprodução. No Brasil, essa fase ocorre entre aproximadamente oito meses a 24 meses de idade (Guimarães *et al.*, 2023).

A fase de engorda ou terminação, é a etapa final da produção, que visa o ganho de peso para atingir o peso de abate desejado. No Brasil, essa fase começa por volta dos 24 meses e pode se estender até os 36 meses de idade, dependendo do sistema de produção adotado, seja a pasto, em confinamento, ou em sistemas integrados (Silva, 2022).

2.3.1 Sistema extensivo

O sistema extensivo é considerado o sistema de produção de bovinos mais tradicional do país. É definido como utilização de pastagens nativas e produzidas como únicas fontes de alimentos proteicos e energéticos (Sversutti; Yada, 2019). No entanto, essas pastagens apresentam deficiência em fósforo, zinco, sódio, cobre, cobalto e iodo, incluindo-se também enxofre e selênio, todos devem ser fornecidos via suplementação mineral (Moraes, 2001).

A criação no sistema extensivo é o predominante dos sistemas produtivos de carne bovina brasileira, onde apresenta uma alta variação de desempenho (Sversutti; Yada, 2019). A variação advém de fatores como clima, solo, sanidade animal, manejo animal, genética, manejo das pastagens, além da gestão (Cezar *et al.*, 2005).

De acordo com os dados do Atlas das Pastagens obtidos no ano de 2022 pelo Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG/UFG; 2022), as pastagens brasileiras, em 2022, ocuparam cerca de 177 milhões de hectares, sendo que aproximadamente 41% dessas áreas apresentam vigor vegetativo médio e sinais de degradação, enquanto 21% estão em estado de baixo vigor vegetativo, caracterizando degradação severa (Bolfe *et al.*, 2024; LAPIG, 2022).

A degradação é o resultado do mal uso da terra, falta de manejo da forragem, com elevadas taxas de ocupação animal, mudanças climáticas, falta de fertilidade do solo, controle ineficiente de plantas daninhas, entre outros (Bolfe *et al.*, 2024). A degradação afeta de forma negativa a qualidade das pastagens, com consequências diretas sobre o desempenho dos animais, principalmente para aqueles que as gramíneas forrageiras são a base da alimentação.

A respeito do manejo das pastagens, deve ser considerado que ele é fundamental e determinante para o sucesso da produção animal. A ausência de manejo adequado das pastagens leva a redução no valor nutricional da planta forrageira, em que promove aumento do teor de lignina, que corresponde ao componente indigerível da fibra. A lignina dificulta a disponibilidade dos nutrientes e assim reduz a digestibilidade da forragem. Ela também está associada aos carboidratos estruturais: celulose, hemicelulose e a pectina (Júnior *et al.*, 2007).

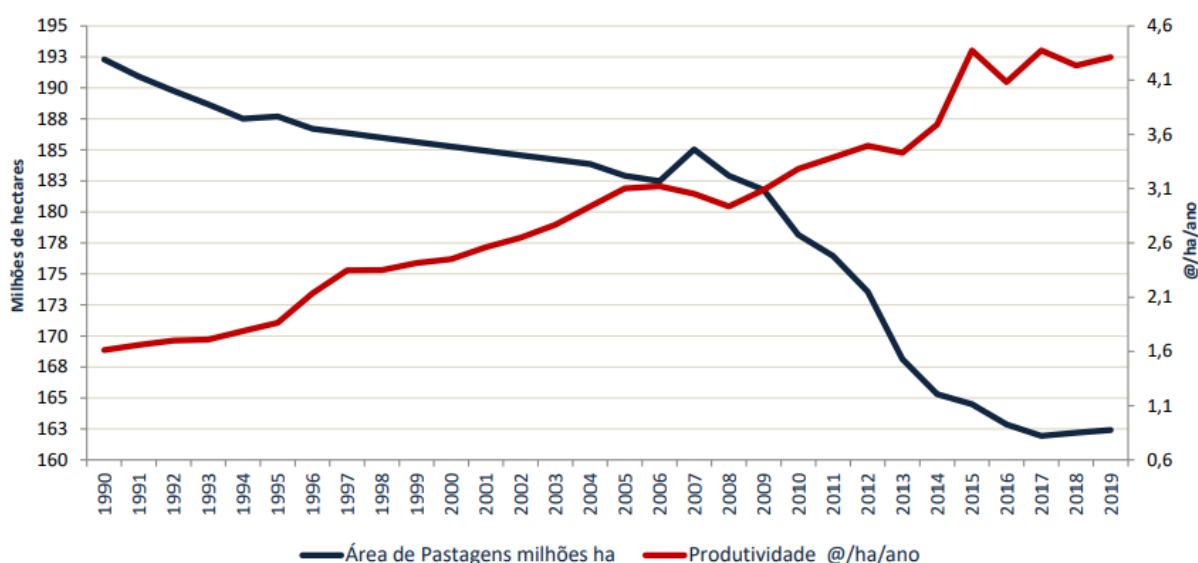
Os componentes fibrosos influenciam a fermentação ruminal, que ocorre antes da digestão gástrica nos ruminantes. Os carboidratos estruturais das plantas são transformados em formas aproveitáveis pelos animais. Em que, a taxa de degradação da fibra e a eficiência fermentativa do bolo alimentar pela microbiota ruminal influenciam nas funções metabólicas e fisiológicas dos animais, impactando diretamente sua produtividade e desempenho (Medeiros; Marino, 2015).

Animais que se alimentam de pastagens de baixa qualidade, com maior teor de fibra, produzem mais ácido acético, gerando mais hidrogênio (H₂), utilizado por Arqueas metanogênicas. Assim, sistemas extensivos com pastagens degradadas tendem a gerar maior produção de metano (Medeiros; Marino, 2015; Mombach *et al.*, 2016).

O Brasil vem adotando tecnologias que tornam o sistema de produção mais intensificados, aumentando sua produtividade na cadeia da bovinocultura de corte. Entre elas estão: adoção dos sistemas integrados de produção, lançamento de novas cultivares de

forrageiras, melhoramento genético do rebanho, manejo e recuperação de pastagens, suplementação alimentar, boas práticas de produção, produção de novilho precoce, sanidade entre outros (Barcellos *et al.*, 2004).

De acordo com Nogueira (2024), é possível com adoção de tecnologias como suplementação adequada e manejo de pastagens proporcionando uma maior produtividade na pecuária, ou seja, produzir mais (arrobas), em menor área (Hectare), conforme é representado pela Figura 2.



Linha azul: área de pastagens milhões ha; Barras vermelhas Produtividade de @/ha/ano.

Figura 2- Evolução da área de pastagens e da produtividade na pecuária.

Fonte: Nogueira (2024).

Nos sistemas extensivos de criação de bovinos, a falta de forragem é comum, especialmente devido à estacionalidade das pastagens, o que prejudica o desenvolvimento dos animais. Quando há alta lotação no período de maior crescimento das gramíneas, o tempo de recuperação das pastagens aumenta, resultando em menor disponibilidade de forragem durante a seca. (Sversutt; Yada, 2019).

De acordo com Cezar *et al.* (2005), em sistema extensivo de regiões tropicais são encontradas pastagens que apresentam capacidade de suporte média anual de 0,5 a 2,5 UA/ha, com ganho de peso vivo que pode variar de 42 a 255 kg/ha/ano. Essa menor produtividade é caracterizada pelas pastagens degradadas e baixa utilização de tecnologias.

Segundo Vargas *et al.* (2012) as pastagens nativas contribuem a produzir maior quantidade de metano por unidade de matéria seca (MS), do que uma pastagem melhorada. Além disso, Pires *et al.* (2023) destacaram que a recuperação de pastagens degradadas é uma

estratégia mitigadora, que possibilita maiores desempenhos com diluição da produção de metano por kg de produto. Esta prática pode também acumular carbono no solo das pastagens, além de anular em até 80% as emissões de CO_{2eq} por bovino de corte adulto (IPCC, 2020).

Cardoso (2012) avaliou a produção de metano por rebanhos em quatro cenários diferentes (Protótipos) de sistemas de produção (Tabela 5). Nos cenários teve a utilização de sistemas mais extensivos com pastagens degradadas (forragem e solo comprometido), até o mais intensivo, com forragem de boa qualidade e suplementação adequada para a categoria trabalhada. Os resultados obtidos revelaram que o cenário com maior produção do metano foi o cenário 1 (média de 25.227 Kg/Rebanho), comparado aos cenários 2 e 4 (com diferença de 12,28% superior ao cenário 2 e 51,2% superior à do cenário 4). Conforme verificado pelo autor, o sistema intensivo (Intensivo -confinado) apresentou menor produção de metano (Tabela 5).

Tabela 5- Produção total de metano (kg) e pelo rebanho nos diferentes sistemas de produção avaliados. A diferença equivale ao aumento ou diminuição no total emitido entre os cenários.

Sistemas de Produção	CH ₄ Pasto	CH ₄ confinamento	CH ₄ total
	Kg/Rebanho		
Cenário 1- Sistema extensivo com pastagens degradadas	25.227	-	25.227
Cenário 2- Sistema extensivo com pastagens resolutivas	20.430	-	20.430
Diferença	-	-	-19,16%
Cenário 3- Extensivo com suplementação na recria e engorda	20.394	-	20.394
Diferença	-	-	-0,17%
Cenário 4- Intensivo confinado	15.766	920	16.685
Diferença	-23,69%	-	-19,19%

Fonte: Adaptado de Cardoso (2012).

De acordo com o autor, isso se deve à melhoria na alimentação dos animais, com o uso de alimentos de maior digestibilidade, um bom manejo de pastagens e maior adição de concentrado favorecendo a produção da maior proporção de propionato no rúmen e assim competindo com as arqueas metanogênicas, e além de melhorias nos índices zootécnicos (como por exemplo: taxa de natalidade e ganho de peso) que encurtaram o ciclo produtivo (Cardoso, 2012).

2.3.2 Sistema semi-intensivo

No sistema semi-intensivo também se tem as pastagens como base alimentar e a suplementação mineral proteica/energética, com objetivo de tornar o ciclo mais curto, em que os animais são suplementados em suas diversas fases de crescimento (aleitamento, recria e engorda), conforme o objetivo de produção em cada sistema (Cotrin; Sabagg; Afonso, 2021).

No sistema semi-intensivo adotam-se técnicas racionais de exploração como o melhoramento genético e manejo de pastagens, adequações sanitárias, separação do rebanho por idade, peso, sexo e estratégias nutricionais (Malafaia *et al.*, 2019). Nesse sistema, as forrageiras são pastejadas de forma pastejo racional, por meio de subdivisões de pastagens, onde há aumento da capacidade de suporte por área, além de adubações químicas, mineralização, vacinações obrigatórias, acompanhamento do rebanho e suplemento de nutrientes (Santos *et al.*, 2022).

Uma das estratégias adotadas no sistema semi-intensivo, está o *Creep feeding*. Esta técnica consiste em suplementar o bezerro a partir de sessenta dias de idade, ou antes, em uma instalação com acesso apenas para os bezerros, onde recebem um suplemento. A instalação pode ser construída no próprio pasto, e tem como objetivo maior ganho de peso na desmama (Cezar *et al.*, 2005).

Outra estratégia é o fornecimento de sal proteico que tem como função evitar a perda de peso e até obter leves ganhos, e também suprir as deficiências de proteína das forragens (Oliveira *et al.*, 2006). Os bovinos possuem a capacidade de usar, no processo de síntese proteica, não apenas o nitrogênio das fontes naturais de proteína, como os farelos e as forragens, mas também o nitrogênio proveniente de fontes não proteicas que são oferecendo nitrogênio para síntese de proteínas microbianas no rúmen, sendo econômicas e eficazes para ruminantes, como a ureia (Vilela; Silva; Robl, 2021). Neste caso, são fornecidas misturas contendo nitrogênio inorgânico (ureia associado com fontes de proteínas vegetais).

O uso de concentrados tem como função garantir o ganho de peso, independente da época do ano. Nesse caso, os suplementos são compostos por alimentos energéticos e proteicos nas quais a quantidade oferecida varia de 2 a 12 g/kg de peso vivo/dia, dependendo da meta de ganho de peso (Cezar *et al.*, 2005). Existem inúmeras fórmulas, onde a quantidade a ser fornecida é definida em função do ganho de peso desejado e da qualidade da pastagem, e fontes de energia e proteína são de origem vegetal, podendo estar associadas com fontes de nitrogênio não proteico como a (ureia).

Nesse sistema já se tem uma diminuição da emissão de metano, em virtude dos processos realizados, como a melhoria no manejo da pastagem, manejo sanitário dos animais, manejo nutricional, melhoramento genético. Com isso, os animais terminam o ciclo de produção mais rápido (Berchielli *et al.*, 2012).

2.3.3 Sistema intensivo

O sistema intensivo consiste na formação e manutenção de pastagens especializadas adequadamente adubadas ou até mesmo irrigadas, melhorias nas condições de alimentação, associando pasto mais suplementação, ou confinamento, com maior controle sobre as condições sanitárias e índices zootécnicos, além da introdução de animais mais produtivos conforme a região (Assis, 2014).

É considerado como um sistema mais complexo, devido à diversos fatores que envolvem a produção como: genótipo, pastagens, tipos de suplementos, sanidade, bem-estar animal, preços de insumos e produtos, gerenciamento, dentre outros (Saron, 2022).

Neste sistema, busca-se ter animais geneticamente superiores, para que promova um desenvolvimento mais rápido e alcance o peso de abate mais jovem, com melhor conversão alimentar e reduzindo as emissões totais de metano por kg de peso vivo ou carne produzida. Uma vez que, o animal que cresce rapidamente atinge o peso de abate mais cedo, necessitando de menos alimento para manutenção e diminuindo as emissões totais de metano (Berchielli *et al.*, 2012).

Além disso, o melhoramento genético permite obter altos índices produtivos e reprodutivos, com o uso de animais geneticamente mais produtivos, como reduzir a idade ao abate, a idade ao primeiro parto e o intervalo entre partos; diminuir o número de animais de reposição; aumentar a longevidade das fêmeas reprodutoras, diminuindo número de animais de diferentes categorias na propriedade e contribui de forma direta ou indireta na redução do metano entérico (Paula; Pessoa; Abrão, 2018; Pryce; Bell, 2017).

A seleção direta identifica diferenças na emissão de metano ou eficiência alimentar dos animais, mas atualmente apenas centros de pesquisa com alto investimento conseguem mensurar isso diretamente. Animais com baixa emissão de metano pode ser selecionados para transmitir essa característica (Donogue *et al.*, 2016).

A seleção pelo consumo alimentar residual (CAR) permite identificar animais com menor consumo de matéria seca (MS) em relação ao peso vivo e ganho de peso esperados. Além disso, o CAR apresenta alta correlação genética com variáveis de desempenho e emissão de metano (Sakamoto, 2018).

O processo de seleção de determinados grupos genéticos ou raças visando à redução da emissão de metano é recente e, em grande parte, está associado ao aumento da produtividade e ao uso eficiente de alimentos, resultando em menor produção de gás por unidade de matéria seca consumida (Buddle *et al.*, 2011; Wall.; Simm; Moran, 2010). No entanto, a ciência continua avançando em busca de métodos mais precisos, como a identificação de marcadores genéticos ou genes que influenciam ou explicam a produção de metano nos animais (Roehe *et al.*, 2016).

De acordo com Berchielli *et al.* (2012), animais precoces tem uma menor produção de metano por kg de peso vivo ou carne produzida, isso se dá principalmente pela genética do animal e pelo sistema de criação adotado.

A eficiência reprodutiva e produtiva do rebanho de corte nacional, de forma sustentável, está diretamente ligada à precocidade dos animais. A precocidade é definida pelo tempo em que o bovino alcança sua puberdade, além do desenvolvimento ósseo e muscular (Terto *et al.*, 2012).

Outra tecnologia adotada em sistemas mais tecnificados como os sistemas intensivos e semi-intensivos, é a utilização de uma suplementação mais concentrada e com uma melhor qualidade nutricional, mas também inclui a utilização de capim, forragem, silagem, grãos ou subprodutos industriais, que são amplamente utilizados da melhor forma (Soren; Sejian; Malik, 2015).

Para Moss, Jouany e Newbold (2000), dietas com alta concentração de amido e boa degradação contribuem para formação de ácido propiônico, dessa forma reduzindo a produção de metano, ao contrário de dietas fibrosas. O uso de dietas com alto teor de concentrado é uma alternativa comum na alimentação dos ruminantes. No entanto, essa dieta rica em grãos pode causar distúrbios nos animais caso não seja adequadamente balanceada (Castro *et al.*, 2014).

Um dos principais desafios ao aumentar o concentrado na dieta é o risco de acidose ruminal, onde ocorre a queda do pH ruminal devido à rápida fermentação dos carboidratos. Esse distúrbio pode resultar em desconforto, redução no consumo de alimentos, laminitite e, em casos graves, até morte (Gebert; Moraes, 2022).

A principal medida preventiva é evitar mudanças bruscas de alimentos fibrosos para alimentos de rápida fermentação, como o amido. O amido pode ser parcialmente substituído

por fontes de energia de degradação mais lenta. Porém, é essencial garantir fibra suficiente para estimular a mastigação, aumentando a produção de saliva, que ajuda a estabilizar o pH do rúmen e sempre fazer adaptação (Macedo *et al.*, 2010). Deve-se fornecer uma dieta equilibrada, que inclua fibras de qualidade, como o volumoso, para estimular a ruminação e a produção de saliva, e manter o pH ruminal estável (Quevedo *et al.*, 2015).

Para minimizar este efeito, podem ser utilizados os tamponantes, pois previnem a queda acentuada do pH e ajudam a melhorar o funcionamento do rúmen. O bicarbonato de sódio é o tamponante mais comumente utilizado, sendo administrado na proporção de 1,0 a 2,0% do concentrado (Macedo *et al.*, 2010).

Os ionóforos também são usados em dietas de para alterar a microbiota ruminal, otimizar a fermentação e reduzir distúrbios digestivos. Eles melhoram a utilização de energia e proteína, além de reduzir a formação de espuma no rúmen (inchaço) e o acúmulo de ácidos graxos de cadeia curta, como o ácido láctico, e assim prevenindo os distúrbios metabólicos (Marques; Cooke, 2021).

2.4 PRÁTICAS DE MITIGAÇÃO DO METANO ENTÉRICO

Mitigação de metano entérico na pecuária está relacionada principalmente ao manejo alimentar, estratégias nutricionais, melhoramento genético do rebanho, recuperação e manejo de pastagens e também vem sendo estudada a utilização de vacinas. Essas alternativas visam ter um aumento na eficiência produtiva e o impacto ambiental sendo reduzido no sistema de produção (Hook *et al.*, 2010; Machado *et al.*, 2011).

A metanogênese permite a remoção contínua do H₂ gasoso produzido no rúmen. Dessa forma, a formação de metano é essencial para o bom funcionamento do ecossistema ruminal, pois evita o acúmulo de H₂ no rúmen (Codognoto *et al.*, 2012). A redução da produção de metano é eficaz de duas maneiras, uma pelo efeito direto sobre os metanógenos, a outra sendo, o efeito indireto causado pelo impacto da estratégia na disponibilidade de substrato para a metanogênese, como a disponibilidade de H₂, geralmente através de um efeito sobre os outros microrganismos do rúmen (Hook *et al.*, 2010).

De acordo com Berchielli *et al.* (2012), a intensidade da emissão de metano, oriundo da fermentação ruminal, depende principalmente do tipo de animal, do consumo de alimentos e

do grau de digestibilidade da massa ingerida, consequentemente o fornecimento de um alimento com boa digestibilidade, propicia diminuição no metano (Beauchemin *et al.*, 2022).

2.4.1 Mudanças no manejo nutricional

Estratégias nutricionais visam aumentar a eficiência produtiva e reduzir o impacto ambiental dos sistemas de produção (Pedreira; Primavesi, 2009).

A manipulação da dieta pode reduzir a emissão de metano em até 40% dependendo do grau de mudança e de intervenção (Beauchemin *et al.*, 2022). Resultados que podem ser alcançados através de estratégias como: melhorar a qualidade das forragens, alteração da proporção da dieta, adição de concentrados e aditivos alimentares que inibe diretamente a metanogênese (Haque, 2018).

Sob o aspecto nutricional, há pesquisas que mostram que o metano entérico pode ser influenciado pelo tipo de alimento ingerido, especialmente pelo tipo de carboidrato e da taxa de sua fermentação, diminuindo a disponibilidade de H_2 e alterando o pH e a microbiota ruminal (Codognoto *et al.*, 2014).

A produção de metano é influenciada por fatores como pastagens, proporção entre conteúdo celular e parede celular, e características das plantas forrageiras. As gramíneas C4, com maior teor de fibras que as plantas C3, favorecem a fermentação acética, resultando em maior produção de metano (g/dia) (Machado *et al.*, 2011).

De acordo com Pomassai *et al.* (2011), quando há mudança de carboidratos estruturais (celulose e hemicelulose) por carboidratos não fibrosos (amido e açúcares) temos alterações físico-químicas no rúmen e em sua população microbiana, promovendo um maior crescimento de bactérias amilolíticas com o aumento da produção de propionato e diminuição do acetato. Tal como, com o oferecimento de subprodutos de destilaria com uma boa quantidade de fibra e uma boa digestibilidade, há a diminuição na produção de metano (Quevedo *et al.*, 2015).

Isso acontece por conta das proporções da relação de acetato e propionato produzidas no rumem. Porém a adição de carboidratos não fibrosos na dieta para diminuir o metano pode desencadear uma acidose ruminal e diminuição da gordura do leite (Codognoto *et al.*, 2014).

Além da quantidade de concentrado na dieta, a composição também influencia na formação de metano (Hindrichsen *et al.*, 2005).

Estudos mostram que ao utilizar silagens de milho ou de outros cereais, em substituição a silagens de gramíneas, é possível reduzir a emissão de metano por ruminantes (Tseten *et al.*, 2022). Isso se deve a presença de amido dos grãos, que favorece a produção de propionato (Machado *et al.*, 2011). Pois o aumento de bactérias amilolíticas leva a uma alteração na produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), resultando em um incremento proporcional de propionato e uma diminuição de acetato. Como consequência, a produção de metano é reduzida pela menor disponibilidade de H_2 no rúmen (Ribeiro *et al.*, 2015; Silva, 2015).

Além disso, a silagem de capim, geralmente é colhida em estágio de maior maturidade, apresenta menor teor de matéria orgânica digestível, açúcar e nitrogênio, além de uma fração de lactato como resultado do processo da ensilagem, o que pode aumentar as emissões de CH_4 . Já a silagem de milho oferece maior teor de matéria seca e carboidratos facilmente digeríveis, como o amido, melhorando a ingestão de matéria seca e o desempenho animal (Haque, 2018).

Animais alimentados com leguminosas apresentam menores emissões de metano em comparação com aqueles alimentados com gramíneas (Berchielli *et al.*, 2012). Conforme verificado no trabalho de Benchaar; Pomar; Chiquette, (2001), ao substituírem o feno de capim-timothy (*Phleum pratense*) por alfafa (*Medicago sativa*) obtiveram como resposta a redução de 21% na emissão de metano, expressa como uma porcentagem da energia digestível.

Ainda neste contexto, um dos pontos para diminuir a produção de metano é priorizar um adequado manejo de pastagens, para que tenha uma maior produção de área folhar, com maior proporção de conteúdo celular em relação a parede celular, ainda, desenvolver consórcios de gramíneas com leguminosas, para obter uma melhor digestibilidade e como consequência um bom desempenho animal e diminuição do CH_4 (Berchielli *et al.*, 2012).

2.4.2 Utilização de ionóforos

Os ionóforos que são antimicrobianos empregados como aditivos em rebanhos de bovinos de corte e de leite, com a finalidade de modular a ingestão de matéria seca (IMS) e melhorar a eficiência na produção de carne e leite (Mc Guffey; Richardson; Wilkinson, 2001). São utilizados para manipular a fermentação ruminal, melhorando a eficiência alimentar, pois modula a proporção entre a produção de ácido propiônico e ácido acético, que resulta em ganho de peso corporal. Além disso, há também uma redução pronunciada da proteólise no rúmen,

diminuindo a amônia como subproduto e aumentando o fluxo total de proteínas no intestino delgado para absorção (Tseten *et al.*, 20022).

Essas substâncias desencadeiam modificações na população microbiana do rúmen, pois seleciona bactérias Gram-negativas, produtoras de ácido succínico ou fermentadoras de ácido láctico, e inibindo Gram-positivas, produtoras de ácido acético, butírico, láctico e também de H₂ (Mombach *et al.*, 2016).

Ionóforos diminuem a formação de metano pelo incremento na proporção de propionato em relação ao acetato, redução no número de protozoários metanogênicos e pela redução na IMS (Beauchemin *et al.*, 2008).

De acordo com Guan *et al.* (2006) um estudo com novilhos alimentados com dietas de baixo e alto concentrado, em que foram suplementados com monensina, mostrou que, na dieta de baixo concentrado, houve uma redução inicial de 27% na produção de metano e 77% na população de protozoários ciliados nas primeiras quatro semanas. Na dieta de alto concentrado, a produção de metano caiu 30% nas duas primeiras semanas, com uma redução de 83% nos protozoários ciliados. Após seis e quatro semanas, respectivamente, os níveis de metano e protozoários retornaram aos valores iniciais. Os autores concluíram que o efeito da monensina sobre o metano está relacionado à população de protozoários ciliados, que se adaptou ao tratamento com o tempo.

O uso de ionóforos na alimentação animal promove alterações em relação a fermentação ruminal. Têm-se um aumento na produção de propionato quando comparado ao acetato, ocasionando um aumento da retenção de energia fermentada no rúmen. Os ionóforos também proporcionam uma diminuição da perda de energia na formação de gases, principalmente o metano. Menor produção de amônio e maior escape de proteína, produto esse da fermentação ruminal. Além disso, a utilização de ionóforos proporciona uma melhor conversão alimentar (Possamai *et al.*, 2011).

A monensina é um exemplo de ionóforo, que utilizada na alimentação de ruminantes, pode contribuir para a redução na produção de metano em até 25%, além de reduzir o consumo de ração em até 4%, sem prejudicar o desempenho animal (Tedeschi; Fox; Tylutki, 2003). No entanto, a microbiota ruminal pode desenvolver resistência após um período de exposição, restabelecendo a produção de metano, mesmo com a rotação de ionóforos como monensina e lasalocida (Guan *et al.*, 2006).

2.4.3 Ácidos orgânicos

Uma das alternativas para termos um bom desempenho animal e diminuir a emissão de metano está na utilização de ácidos orgânicos como: málico, fumárico, succínico e propiônico. Esses ácidos podem aumentar a utilização de lactato no rúmen, servir como precursores metabólicos para a síntese de glicose e diminuir a perda de equivalentes de redução para a produção de metano, pois proporcionam maior produção de propionato (Lascano; Cárdenas, 2010).

A metanogênese pode ser reduzida pelo aumento da utilização de H_2 e formato por microrganismos que não são metanogênicos. Os ácidos orgânicos agem como inibidores da emissão de metano ao reduzir a disponibilidade de H_2 no rúmen, atuando como receptores de H_2 para a formação de succinato. Microrganismos como *Fibrobacter succinogenes*, *S. ruminantium cepas ruminantium e lactilytica*, *Veillonella parvula* e *Wolinella succinogenes* utilizam fumarato, competindo com os metanogênicos pelo H_2 disponível (Machado *et al.*, 2011).

Os ácidos orgânicos estão em concentrações relativamente elevadas no tecido foliar das plantas, e devem ser feitas tentativas para selecionar e produzir forragens com altos níveis desses compostos (Berchielli *et al.*, 2012).

O ácido fumárico, em sua forma livre ou encapsulada, foi administrado a cordeiros em crescimento, resultando em uma redução de metano de 62% e 76%, respectivamente. Também foi fornecido a gado de corte em crescimento (175 g/dia), novilhos (80 g/dia) e carneiros (4–10 g/100 g de MS), mas não houve redução significativa nas emissões de metano, embora níveis mais altos de inclusão tenham suprimido o DMI. Além disso, novilhas de corte suplementadas com 3,75% e 7,5% de ácido málico com base na MS apresentaram reduções de metano de 3% e 9% em g/kg de CMS, respectivamente (Hook *et al.*, 2010).

Porém a utilização comercial dos ácidos orgânicos como aditivos para ruminantes é limitada, principalmente, pelo custo, podendo sua utilização não ser economicamente viável (Machado *et al.*, 2011).

Embora seu custo seja elevado e economicamente inviável, essas substâncias, assim como saponinas, taninos e óleos essenciais, estão presentes no tecido foliar, o que indica potencial para pesquisas em melhoramento genético (Codognoto *et al.*, 2014).

2.4.4 Taninos e saponinas

Diversos compostos secundários de plantas, como taninos e saponinas, foram estudados por seu potencial de reduzir a produção de CH₄ em ruminantes (Beauchemin *et al.*, 2022).

Os taninos são complexos grupos de polifenóis de origem vegetal, produzidos pelas plantas como mecanismo de defesa contra a herbivoria (Krueger *et al.*, 2010). E são divididos em dois grupos principais: hidrolisáveis e condensados que têm a capacidade de se ligar às proteínas, aos íons metálicos e aos polissacarídeos. Por esse motivo, os taninos são considerados antinutricionais para ruminantes, quando excedem 6% da matéria seca dos alimentos. Eles podem reduzir a ingestão de matéria seca, a digestibilidade de proteínas, fósforo, fibras e o desempenho animal (McAllister *et al.*, 2005; Págan-Riestra *et al.*, 2010).

Os compostos taninos condensados (TC) podem ter efeitos adversos ou benéficos no metabolismo animal, dependendo de sua estrutura, concentração no alimento, estágio fisiológico do animal e composição da dieta. O uso do mesmo tem efeito modulador na fermentação ruminal, pois causam mudança na divisão dos nutrientes e direcionando a maior parte dos nutrientes disponíveis para a síntese de biomassa microbiana e menos para a produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) (Makkar, 2003).

A ação dos taninos pode reduzir a digestão ruminal da fibra dietética e a digestibilidade aparente da fibra, devido à ligação dos taninos com os compostos fibrosos da dieta (Barry; Manley; Duncan, 1986). Além de inibir diretamente o crescimento das bactérias metanogênicas (Tavendale *et al.*, 2005). Os autores Jayanegara *et al.* (2012) avaliaram o efeito do tanino na redução do CH₄ e na digestibilidade comparando estudos *in vivo* e *in vitro*. Os autores observaram que parte da diminuição da produção de CH₄, com a adição de taninos, pode ser atribuída a um declínio na digestibilidade dos nutrientes, causados pela complexação dos taninos com as proteínas e os carboidratos.

O uso de taninos na nutrição de bovinos pode reduzir a produção de CH₄, mas a variabilidade em sua estrutura dificulta determinar os níveis e fontes ideais para inclusão na dieta. A redução de CH₄ deve vir acompanhada da manutenção da digestibilidade e do uso eficiente dos nutrientes, especialmente proteínas. São necessários mais estudos para definir os melhores níveis e fontes de taninos condensados e avaliar seus efeitos na produção de CH₄, desempenho e eficiência energética dos bovinos (Costa *et al.*, 2020).

Além dos taninos, as saponinas são moléculas com grande diversidade estrutural, divididas em dois grupos: triterpenoides e glicosídeos esteroides, tendo como classificação

química: Saponinas esteroidais: esqueleto com 27 carbonos, tetracíclico e Saponinas triterpênicas: esqueleto com 30 carbonos, pentacíclico. As principais fontes de saponinas usadas em dietas de ruminantes incluem *Yucca schidigera*, *Quillaja saponaria*, *Camellia sinensis* e *Medicago sativa* (Jayanegara; Wina; Takahashi, 2014).

O efeito antimetanogênico das saponinas ocorre principalmente devido à inibição dos protozoários do rúmen e dos metanogênicos associados, resultando no aumento da produção de propionato (Adegbeye *et al.*, 2019). As saponinas atuam como agentes antiprotozoários em concentrações mais baixas, enquanto concentrações mais elevadas podem suprimir os microrganismos metanogênicos. Além disso, as saponinas inibem espécies de bactérias e fungos no rúmen e limitam a disponibilidade de H_2 para a metanogênese, reduzindo, assim, a produção de CH_4 . Observou uma redução de metano de até 50% com a adição de saponinas (Haque, 2018).

Porém o efeito das saponinas na redução de CH_4 é altamente variável, dependendo de fatores como a fonte, estrutura química, dose utilizada, composição da dieta e a possibilidade de adaptação dos microrganismos do rúmen para degradar saponinas. Poucos estudos *in vivo* analisaram as saponinas na mitigação de CH_4 , e com resultados variados. Apesar de um efeito moderado em doses práticas, mais pesquisas são necessárias para determinar concentrações ideais (Beauchemin *et al.*, 2022).

2.4.5 Utilização de gorduras

As publicações científicas nos últimos anos, revelam que o fornecimento de dietas com a adição de lipídeos não protegidos pode auxiliar na redução de metano entérico (Beauchemin *et al.*, 2022; Carega; Dantas, 2017; Mombach *et al.*, 2016).

São vários os mecanismos de ação dos lipídeos sobre a metanogênese (Ribeiro *et al.*, 2015). Ao adicionar lipídeos na dieta, ocorre a redução na quantidade de matéria orgânica fermentável no rúmen, já que os lipídeos não são fonte de energia para as bactérias ruminais, moderam o número de protozoários relacionado à metanogênese, além disso, efeito tóxico sobre microrganismos metanogênicos exercido por ácidos graxos poli-insaturados e a biohidrogenação dos ácidos graxos poli-insaturados, funcionam como um dissipador de hidrogênio (Mombach *et al.*, 2016).

Grainger e Beauchemin (2011) examinaram cerca de 27 pesquisas e chegaram à conclusão que com o aumento de 10 g de gordura para cada kg de ingestão de matéria seca

(IMS) na dieta refletia na redução na produção de 1 g de CH₄ para cada kg de IMS em bovinos. O resultado tóxico de ácidos graxos de cadeia longa ocorre por conta da atuação sobre a membrana celular, especialmente de bactérias gram-positivas. O ácido linoleico é tóxico para bactérias celulolíticas (*F. succinogenes*, *R. albus* a *R. flavefasciens*), por afetar a integridade celular, e para fungos *Neocallimastix frontalis* cultivados *in vitro* (Maia *et al.*, 2007).

As mudanças na população microbiana ruminal contribuem a produção de propionato, aumentando a captação de H₂ nesse processo (Ribeiro *et al.*, 2015). Contudo, o uso de lipídeo na dieta é limitado a inclusões entre 3 e 4% da MS da dieta, não excedendo 6% para evitar depressão no consumo de MS (Beauchemin *et al.*, 2008). Ainda, segundo o mesmo autor, para garantir a redução nas emissões de CH₄ com a inclusão de lipídeo na dieta é necessária inclusão continuada deste ingrediente na dieta; e pode variar em função do nível de suplementação, fonte de lipídeo, forma de fornecimento (óleo ou semente) e o tipo de dieta.

Utilização de suplementos lipídicos, tais como óleos de coco, de canola ou de palmáceas (rico em ácido láurico), ou ácido mirístico purificado, são mais depressivos sobre a emissão de metano, especialmente em dietas ricas em concentrado e baixos níveis de Ca (Machmuller *et al.*, 2003). Ácidos graxos de cadeia media (12 a 14 átomos de carbono), reduzem a metanogênese por conta de sua toxicidade. E a função comercial dessa técnica para diminuição do metano tem alto custo em países de clima temperado, mas no Brasil apresenta viabilidade por conta da maior acessibilidade desses produtos no mercado, e alto valor de mercado das principais fontes de óleo (Ribeiro *et al.*, 2015).

A funcionalidade da suplementação lipídica para a mitigação do metano entérico, tem que considerar os efeitos sobre o metabolismo e desempenho do animal, para escolher a fonte de gordura/óleo e o nível de adição na dieta seja ajustado de modo apropriado. Os efeitos contrários do uso de lipídios para ruminantes são menores em dietas com baixo teor de fibra. Porém a suplementação com lipídio deve ter mais atenção e cuidados em sistemas de produção em pastagem (Machado *et al.*, 2011).

A suplementação lipídica é uma estratégia prática e eficaz para reduzir o metano entérico em ruminantes. Estudos mostram que a adição de lipídios à dieta diminui, em média, 3,8% das emissões de CH₄ entérico para cada aumento de 1% no teor de gordura em relação na matéria seca (MS) da dieta. (Martin; Morgavi; Doreau, 2009).

Recomenda-se que a adição total de lipídios não ultrapasse 6 % da matéria seca da dieta, pois níveis mais altos podem reduzir a digestibilidade da fibra, impactar a produção de metano e alterar a relação acetato: propionato, especialmente quando há alta concentração de ácidos graxos insaturados (Codognoto *et al.*, 2014).

A suplementação com lipídios exige maior cautela em sistemas de produção em pastagem. Além disso, são necessários mais estudos *in vivo* para avaliar o uso de óleos e gorduras em dietas de ruminantes, considerando os efeitos a longo prazo, e não apenas em períodos experimentais curtos (Machado *et al.*, 2011).

O excesso de lipídios na dieta de ruminantes, especialmente aqueles com alto teor de ácidos graxos insaturados (AGI), pode reduzir a adesão e a multiplicação das bactérias celulolíticas, responsáveis pela fermentação da fibra (Granja *et al.*, 2016). Isso prejudica o trânsito do alimento pelo sistema digestivo, comprometendo a ingestão de matéria seca e, consequentemente, o desempenho do animal (Fiorentini *et al.*, 2015).

A suplementação lipídica pode ter múltiplos efeitos, impactando o número e a atividade dos microrganismos do rúmen, o que pode comprometer a digestão caso efeitos tóxicos levem ao acúmulo de H₂ (Ribeiro *et al.*, 2015). Apesar de altos níveis de lipídios permitirem uma redução de metano superior a 40%, na prática, as reduções mais comuns variam entre 10% e 25%. (Beauchemin *et al.*, 2008).

2.4.6 Vacina metanogênica

Outra estratégia de redução de metano que está sendo investigada é o desenvolvimento de uma vacina que estimularia o sistema imunológico do ruminante a produzir anticorpos contra metanogênicos produtores de metano (Hook *et al.*, 2010). O intuito é estimular o sistema imunológico do animal para provocar uma resposta imunológica e produzir anticorpos contra o metanogênicos. Esses anticorpos então fluem para o sistema digestivo via saliva onde a atividade dos metanógenos é inibido (Wright *et al.*, 2004).

A eficácia da vacinação necessita da ligação de anticorpos salivares à superfície das metanogênicas, o que resulta em inativação ou remoção das mesmas do rúmen. Logo, o alvo primário da vacina é provavelmente proteínas de superfície ou aquelas associadas à membrana, presentes universalmente nas metanogênicas (Buddle *et al.*, 2011). O desafio é desenvolver vacinas de amplo espectro contra metanogênicas, que sejam efetivas em diferentes condições de produção animal e em regiões geograficamente distintas (Ribeiro *et al.*, 2015).

A vacinação contra metanógenos ruminais tem o potencial de reduzir as emissões de metano, diminuindo o número ou atividade de metanógenos no rúmen (Buddle *et al.*, 2011). Em um estudo australiano, foi feita a imunização de ovinos com uma vacina de células inteiras

preparação de três metanógenos reduziu a produção de metano (por kg/CMS) em 7,7% (Wright *et al.*, 2004).

Porém, quando o foi repetido com uma mistura de cinco metanógenos, a vacinação não teve redução do metano, embora tenha alterou a fauna microbiana no rúmen (Williams *et al.*, 2009). Pesquisas estão sendo conduzidas para identificar adjuvantes que promovam fortes respostas de anticorpos salivares (Buddle *et al.*, 2011). Também com base no estudo de (Wright *et al.*, 2004), foi realizado experimento somente em ovinos, portanto como são duas espécies de ruminantes e as duas emitem metano através do metano entérico, pode ter sim uma efetividade através da utilização da vacina, porém deve ser realizados mais estudos sobre.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas de produção mais intensificados emitem menos metano entérico quando comparados ao sistema extensivo.

As estratégias principais para reduzir o metano entérico baseiam-se especialmente no manejo nutricional.

A adoção de manejo racional das pastagens, o melhoramento genético e utilização adequada de aditivos são estratégias eficientes para reduzir a emissão de metano entérico por quilo de carne produzido, além de melhorar a eficiência e produtividade dos animais.

REFERÊNCIAS

- ABIEC – Associação brasileira das indústrias exportadoras de carne. **Beef Report 2024: perfil da pecuária no Brasil**. 2024. Disponível em: < <https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2024-perfil-da-pecuaria-no-brasil/> >. Acesso em: 27 de novembro de 2024.
- ABIEC - Associação das indústrias Exportadoras de carne. **Exportações de carne bovina**. 2023. Disponível em: <<https://www.abiec.com.br/exportacoes/>> Acesso em:15 de junho de 2024
- ADEGBEYE, M. J.; ELGHANDOUR, M. M.; MONROY, J. C.; ABEGUNDE, T. O.; SALEM, A. Z.; BARBABOSA-PLIEGO, A.; E FANIYI, T. O. Potential influence of Yucca extract as feed additive on greenhouse gases emission for a cleaner livestock and aquaculture farming-A review. **Journal of Cleaner Production**, v.239, p. 118074. 2019.
- ALUWONG, T.; ALLAM, L. Interações gado-ambiente: Emissões de metano de ruminantes. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 8, p. 1265-1269, 2011.
- ASSAD, E. D., MARTINS, S. C., CORDEIRO, L. A. M., E EVANGELISTA, B. A. Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados. **ILPF: Inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília, DF: Embrapa**, p. 153-67. 2019.
- ASSIS, G. M. L. Sistema de produção de leite a pasto no Acre. **Rio Branco, AC: Embrapa Acre**, 2014.
- BARBERO, R. P., RIBEIRO, A. C. D. C., MOURA, A. M., LONGHINI, V. Z., MATTOS, T. F. D. A., E BARBERO, M. M. D. Potencial de produção de bovinos de corte em pastagens tropicais: revisão de literatura. **Ciência Animal Brasileira**, v.22, p. e69609. 2021.
- BARBOSA, B. R. P., SANTOS, S. A., ABREU, U. G. P. D., EGITO, A. A., COMASTRI FILHO, J. A., JULIANO, R. S. & MC MANUS, C. Tolerância ao calor em bovinos das raças Nelore branco, nelore vermelho e Pantaneira. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 15, p. 854-865. 2014.
- BARCELLOS, J. O. J., SUÑE, Y. B. P., SEMMELMANN, C. E., GRECELLÉ, R. A., COSTA, E. C. D., MONTANHOLI, Y. R., E CHRISTOFARI, L. A bovinocultura de corte frente a agriculturização no sul do Brasil. **Ciclo de atualização em medicina veterinária**, v. 11, p. 13-30. 2004.
- BARRY, T. N.; MANLEY, T. R.; DUNCAN, S. J. The role of condensed tannins in the nutritional value of Lotus pedunculatus for sheep: 4. Sites of carbohydrate and protein digestion as influenced by dietary reactive tannin concentration. **British journal of nutrition**, v. 55, n. 1, p. 123-137, 1986.
- BEAUCHEMIN, K. A.; UNGERFELD, E. M.; ABDALLA, A. L.; ALVAREZ, C.; ARNDT, C.; BECQUET, P.; E KEBREAB, E. Invited review: Current enteric methane mitigation options. **Journal of Dairy Science**, v. 105, n. 12, p. 9297-9326, 2022.

BEAUCHEMIN, K. A., KREUZER, M., O'MARA, F., E MCALLISTER, T. A. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 48, n. 2, p. 21-27. 2008.

BENCHAAAR, C.; POMAR, C.; E CHIQUETTE, J. Evaluation of dietary strategies to reduce methane production in ruminants: a modelling approach. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 81, n. 4, p. 563-574, 2001.

BERCHIELLI, T. T; MESSANA, J. D; E CANESIN, R. C. Produção de metano entérico em pastagens tropicais. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.13, p. 954-968. 2012.

BOLFE, É. L.; VICTORIA, D. D. C.; SANO, E. E.; BAYMA, G.; MASSRUHÁ, S. M. F. S.; E & DE OLIVEIRA, A. F. Potential for Agricultural Expansion in Degraded Pasture Lands in Brazil Based on Geospatial Databases. **Land**, v. 13, n. 2, p. 200, 2024.

BOTERO, M. I. C.; CANTET, J. M.; MONTOYA, S.; CORREA LONDOÑO, G. A.; E BARAHONA ROSALES, R. Producción de metano in vitro de las gramíneas tropicales solas y mezcladas con *Leucaena leucocephala* o *Gliricidia sepium*. **CES Medicina Veterinaria y Zootecnia**, v. 8, n. 2, p. 15-31, 2013.

BUDDLE, B. M; DENIS, M; ATTWOOD, G. T; ALTERMANN, E; JANSSEN, P. H; RONIMUS, R. S. E; WEDLOCK, D. N. Strategies to reduce methane emissions from farmed ruminants grazing on pasture. **The Veterinary Journal**. v. 188, n.1, p. 11-17. 2011.

CAMERRO, L. Z. - Processo de condicionamento e avaliação do equilíbrio térmico de bovinos Guzerá. Dissertação **Universidade estadual paulista – Unesp Câmpus de Jaboticabal**, 2016.

CARDOSO, A. D. S. **Avaliação das emissões de gases de efeito estufa em diferentes cenários de intensificação de uso das pastagens no Brasil central**. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.

CAREGA, M. F. C. S.; DANTAS, A. Metano ruminal e o uso de taninos condensados como estratégia de mitigação. **Nucleus Animalium**, v. 9, n. 1, 2017.

CARVALHO, T. B.; E DE ZEN, S. A cadeia de Pecuária de Corte no Brasil: evolução e tendências. **Revista iPecege**, v.3, n. 1, p. 85-99. 2017.

CASTRO, W. J. R.; DE CASTRO, M. C. R.; FERNANDES, G. A.; FERNANDES, F. F. D.; MOUSQUER, C. J.; BORGES, V. T. O. E HOFFMANN, A. Exigências de compostos fibrosos para bovinos em confinamento. **Pubvet**, v.8, p. 0230-0339, 2014.

CEZAR, I. M; DE QUEIROZ, H. P., THIAGO, L. D. S., GARAGORRY, F. L., E COSTA, F. P. Sistemas de produção de gado de corte no Brasil: uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate. **Documentos 151. Embrapa Gado de Corte. Campo Grande, MS: 2005**. 2005.

CODOGNATO, D.C.; PORTO, M. O; CAVALI, J; FERREIRA, E.; E STACHIW, R. Alternativas de mitigação de emissão de metano entérico na pecuária. **Revista Brasileira de**

Ciências da Amazônia/Brazilian Journal of Science of the Amazon. n. 3, v. 1, p. 81-92, 2014.

COSTA, I. C.; MELGAÇO, F. P.; SILVA, A. A.; BARATA, F. G.; E GABRIEL, A. F. Taninos condensados na nutrição de bovinos: emissão de metano, desempenho animal e eficiência energética. **Nutritime**, v.17, n.6, Issn. 1983- 9006. 2020

COTRIN, A. L. B.; SABBAG, O.J.; AFFONSO, V. Análise comparativa da sustentabilidade na bovinocultura de corte: Um estudo multicaso. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 9, p. e53610918127, 2021.

DONOGUE, K. A. BIRD-GARDINER, T.; ARTHUR, P. F.; HERD, R. M.; E HEGARTY, R. F. Genetic and phenotypic variance and covariance components for methane emission and postweaning traits in Angus cattle. **Journal of Animal Science**, v.94, n. 4, p. 1438-1445. 2016.

FIORENTINI, G., CARVALHO, I. P., MESSANA, J. D., CANESIN, R. C., CASTAGNINO, P. S., LAGE, J. F., ... E BERCHIELLI, T. T. Effect of lipid sources with different fatty acid profiles on intake, nutrient digestion and ruminal fermentation of feedlot Nellore steers. **Asian-Australasian journal of animal sciences**, v.28, v. 11, p. 1583. 2015.

FREITAS, M. P. V.; DA COSTA, C. P. Diferencial de peso de bezerros desmamas Nelore Convencional e Senepol. **Revista JRG de Estudos Acadêmicos**, v. 6, n. 13, p. 2396-2407, 2023.

GEBERT, D.; DE MORAIS, Gr. Acidose Ruminal Em Bovinos. **Revista Inovação: Gestão e Tecnologia no Agronegócio**, v. 1, n. 1, p. 234-263, 2022.

GRAINGER, C.; E BEAUCHEMIN, K. A. Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production? **Animal feed science and technology**, v.166, p. 308-320. 2011.

GRANDL, F.; AMELCHANKA, SL; FURGER, M.; CLAUSS, M.; ZEITZ, J.O.; KREUZER, M.; E SCHWARM, A. Biological implications of longevity in dairy cows: 2. Changes in methane emissions and efficiency with age. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 5, p. 3472-3485, 2016.

GRANJA-SALCEDO, M. M. Y. T.; DIAS, Z. A. V. L.; E MESSANA, Z. M. D. J. D. Glicerina bruta e lipídeos na dieta: manipulando o metabolismo ruminal de bovinos de corte. **Revista Investigação Medicina Veterinária**, v.15, n.7, p.60-65. 2016.

GUAN, H.; WITTENBERG, K. M.; OMINSKI, K. H.; E KRAUSE, D. O. Efficacy of ionophores in cattle diets for mitigation of enteric methane. **Journal of animal science**, v. 84, n. 7, p. 1896-1906. 2006.

GUIMARÃES, L. J.; DA SILVA, I. G.; DE SOUZA, T. C.; DE SOUZA Z., H. M.; ZUNDT, M., FACTORI, M. A.; E AMBIEL, A. C. Suplementação na recria de bovinos de corte para melhor desempenho animal e econômico: revisão. **Revista Puxirum: Abordagem Multidisciplinar em Ciências Agrárias**, v.1, n.2, 2023.

HAQUE, M. N. Dietary manipulation: a sustainable way to mitigate methane emissions from ruminants. **Journal of animal science and technology**, v.60, p.1-10. 2018.

HINDRICHSEN, I. K.; WETTSTEIN, H. R.; MACHMÜLLER, A., JÖRG, B.; E KREUZER, M. Effect of the carbohydrate composition of feed concentrates on methane emission from dairy cows and their slurry. **Environmental monitoring and assessment**, v.107, p. 329-350. 2005.

HOOK, S. E. ANDRE-DENIS G. WRIGHT, E BRIAN W. MCBRIDE, Methanogens: rumen methane producers and mitigation strategies, **Archaea**, 2010, 945785, p. 11, 2010.

IBGE - Instituto brasileiro de geografia e estatística –**Produção de bovinos abatidos**. 2023. Disponível em:<<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/bovinos-abatidos/mt>> Acesso em: 10 abr. 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Painel de Indicadores**. 2023. Disponível em:<<https://www.ibge.gov.br/indicadores.html>> Acesso em: 09 abr. 2024.

JARVIS, G. N., STRÖMPL, C., BURGESS, D. M., SKILLMAN, L. C., MOORE, E. R., & JOBLIN, K. N. Isolation and identification of ruminal methanogens from grazing cattle. **Current microbiology**, v. 40, p. 327-332. 2000.

JAYANEGARA, A.; LEIBER, F.; E KREUZER, M. Meta-analysis of the relationship between dietary tannin level and methane formation in ruminants from in vivo and in vitro experiments. **Journal of animal physiology and animal nutrition**, v.96, n.3, p. 365-375. 2012.

JAYANEGARA, A.; WINA, E.; TAKAHASHI, J. Meta-analysis on methane mitigating properties of saponin-rich sources in the rumen: influence of addition levels and plant sources. **Asian-Australasian journal of animal sciences**, v. 27, n. 10, p. 1426, 2014.

JOHNSON, K. A.; JOHNSON, D. E. Methane emissions from cattle. **Journal of animal science**, v. 73, n. 8, p. 2483-2492, 1995.

JÚNIOR, G. L., ZANINE, A. D. M., BORGES, I., E PÉREZ, J. R. O. Qualidade da fibra para a dieta de ruminantes. **Ciência Animal**, v. 17, n. 7, 2007.

KOZLOSKI, G. B. Bioquímica dos ruminantes. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2002. 139p.

KRUEGER, W. K.; GUTIERREZ-BAÑUELOS, H.; CARSTENS, G. E.; MIN, B. R.; PINCHAK, W. E.; GOMEZ, R. R.; E FORBES, T. D. A. Effects of dietary tannin source on performance, feed efficiency, ruminal fermentation, and carcass and non-carcass traits in steers fed a high-grain diet. **Animal Feed Science and Technology**, v. 159, n. 1-2, p. 1-9, 2010.

LAPIG - Universidade Federal de Goiás (UFG); Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento Atlas das Pastagens. 2022. Disponível em:<<https://atlasdaspastagens.ufg.br/map>>. Acesso em 05 novembro de 2024.

LASCANO, C. E., E CÁRDENAS, E. Alternatives for methane emission mitigation in livestock systems. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.175-182. 2010.

LYU, Z.; SHAO, N.; AKINYEMI, T.; E WHITMAN, WB. Metanogênese. **Biologia Atual**, v.28 n.13, p. R727-R732. 2018.

MACEDO, B. S.; RABASSA, V. R.; BIANCHI, I.; E CORRÊA, M. N. Acidose Ruminal em bovinos de corte. **Núcleo de Pesquisa, Ensino e Extensão em Pecuária**, p. 1-4. 2010.

MACHADO, F. S., PEREIRA, L. G. R., GUIMARÃES JÚNIOR, R., LOPES, F. C. F., CHAVES, A. V., CAMPOS, M. M., E MORENZ, M. J. F. Emissões de metano na pecuária: conceitos, métodos de avaliação e estratégias de mitigação. **Embrapa gado de leite**. 2011.

MACHMULLER, A.; SOLIVA, C. R.; KREUZER, M.. Methane suppressive effect of myristic acid in sheep as affected by dietary calcium and forage ratio. **British Journal of Nutrition**, v. 3, p. 529-540, 2003.

MAIA, M. R.; CHAUDHARY, L. C; FIGUERES, L; E WALLACE, R. J. Metabolism of polyunsaturated fatty acids and their toxicity to the microflora of the rumen, **Antonie Van Leeuwenhoek**, n.91, p. 303-314. 2007.

MCALLISTER, T. A.; MARTINEZ, T.; BAE, H. D.; MUIR, A. D.; YANKE, L. J.; E JONES, G. A. Characterization of condensed tannins purified from legume forages: chromophore production, protein precipitation, and inhibitory effects on cellulose digestion. **Journal of Chemical Ecology**, v. 31, p. 2049-2068, 2005.

MAKKAR, H. P. Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. **Small ruminant research**, v.49, n.3, p. 241-256. 2003.

MALAFAIA, G. C., DE AZEVEDO, D. B., PEREIRA, M. D. A., E MATIAS, M. D. A. **A sustentabilidade na cadeia produtiva da pecuária de corte brasileira**. Capítulo 8, 2019.

MARQUES, R. S.; COOKE, R. F. Effects of ionophores on ruminal function of beef cattle. **Animais**, v. 11, n. 10, p. 2871, 2021.

MARTIN, C., MORGAVI, D. P., & DOREAU, M. Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. **Animal**, v. 4, n. 3, p. 351-365. 2009.

MARTINS, M. D. M. Análise da eficiência técnica da pecuária de corte para regiões brasileiras selecionadas-uma análise de fronteira estocástica. **Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo**. 2019.

MC GUFFEY, R.K.; RICHARDSON, L.F.; WILKINSON, J.I.D. Ionóforos para gado leiteiro: situação atual e perspectivas futuras. **Journal of Dairy Science**, p. E194-E203, 2001.

MEDEIROS, S. R.; E MARINO, C. T. **Carboidratos na nutrição de gado de corte**. 2015.

MIRANDA, G. S.; DE ALMEIDA; V. G. S., DE SOUZA, C. M.; DA SILVA, A. A.; DA SILVA, A. S., ANDRADE, L. Q. E BRANDÃO, R. S. Microbiologia ruminal sob a perspectiva

metagenômica: **Uma revisão das novas descobertas e tendências. LUMEN ET VIRTUS**, v. 15 n. 39, p. 4022-4041. 2024.

MOMBACH, M. A; PEDREIRA, B; PEREIRA, D. H; CABRAL, L. D. S., E RODRIGUES, R. Emissão de metano entérico por bovinos: o que sabemos e que podemos fazer? **Simpósio de pecuária integrada**. p. 181-202, 2016.

MORAES, S. D. S. Importância da suplementação mineral para bovinos de corte. Campo Grande, MS: **Embrapa Gado de Corte**, 2001.

MOSS, A. R.; JOUANY, J. P.; NEWBOLD, J. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. In: **Annales de zootechnie.EDP Sciences**, p. 231-253. 2000

NIGGLI, U., FLIEßBACH, A; HEPPELRY, P; E SCIALABBA, N. Low greenhouse gas agriculture: mitigation and adaptation potential of sustainable farming systems. **Ökologie & Landbau**, n. 141, p. 32-33. 2009.

NOGUEIRA, M. P. Pecuária, desmatamento e uso da terra. **Athenagro**. 2024. Disponível em:<<https://rallydapecuaria.com.br/>> Acesso em 16 de setembro de 2024.

OLIVEIRA, E. R., DE AGUIAR PAIVA, P. C., BABILÔNIA, J. L., MORON, I. R., DE CARDOSO, R. C., E DE OLIVEIRA, J. A. Desempenho de novilhos suplementados com sal mineral protéico e energético em pastagem no período da seca. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.28 n.3, p. 323-329. 2006.

OLIVEIRA, V. D. S; SANTANA NETO, J. A; VALENÇA, R. D. L; E SANTOS, A. C. P. D.. Estratégias para mitigar a produção de metano entérico. **Veterinária Notícias**. p. 39-70. 2017.

PATRA, A. K. Trends and projected estimates of GHG emissions from Indian livestock farming compared with global and developing country GHG emissions. **Asian-Australasian journal of animal Science**, v. 27, n. 4, p. 592, 2014.

PAULA, K. G. S. A., PESSOA, M. S., E ABRÃO, O. Emissão de metano na pecuária: relação causa-efeito e mecanismos modulatórios. **Pubvet**, v. 13, p. 148. 2018.

PEDREIRA, M. D. S.; E PRIMAVESI, O. **ASPECTOS AMBIENTAIS NA BOVINOCULTURA**. 2009.

PIRES F. P. A. A.; GONÇALVES, L. C.; MENEZES, A. R.; MENEZES, L. G.; OLIVEIRA, F. A.; ANANIAS, A. V. J.; SOUZA D. G. P.; E PIRES, A. D. A. D. Emissão e mitigação da produção de metano entérico por bovinos em pastagens. **Sinapse Múltipla**, v. 12, n. 2, p. 121-132, 2023.

POSSAMAI, A.; LALA, B.; PEREIRA, V.; GOMES, L.; E SILVA, S. Modificadores da fermentação ruminal: uma revisão. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v.5, n. 2, p. 108-116. 2011.

PRIMAVESI, O; FRIGHETTO, R. T. S; PEDREIRA, M. D. S.; LIMA, M. A. D; BERCHIELLI, T. T; E BARBOSA, P. F. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n.1, p. 277-283, 2004.

PRYCE, J. E.; E BELL, M. J. The impact of genetic selection on greenhouse-gas emissions in Australian dairy cattle. **Animal Production Science**, v.57, n.7, p.1451-1456. 2017.

QUEVEDO, L. S., SILVEIRA, C. S., SCHREINER, T., DIEFENBACH, A., & ANJOS, B. L. Surto de acidose ruminal em criação semiextensiva de bovinos de corte-relato de caso. **Brazilian Journal of Veterinary Medicine**, v.37, n.3, p.269-274, 2015.

RIBEIRO P., L. G; MACHADO, F. S; CAMPOS, M. M; GUIMARAES JÚNIOR, R; TOMICH, T. R; REIS, L. G; E COOMBS, C. Estratégias de mitigação de metano entérico em ruminantes: revisão de literatura. **Revista Colombiana de Ciências Pecuárias**, v.28n. n.2, p. 124-143. 2015

RIBEIRO, P. H., E DE CÓRDOVA GOBETTI, S. T. Alimentos tamponantes para bovinos. **Ciência Veterinária UniFil**, v.1 n.1, p. 20-32. 2018.

RIESTRA, S. P; MUIR, J. P.; LAMBERT, B. D.; TEDESCHI, L. O.; E REDMON, L. A. Phosphorus and other nutrient disappearance from plants containing condensed tannins using the mobile nylon bag technique. **Animal feed science and technology**, v. 156, n. 1-2, p. 19-25, 2010.

RIVERO, S; ALMEIDA, O; ÁVILA, S; E OLIVEIRA, W. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. **Nova economia**, n.19, p. 41-66. 2009.

ROEHE, R.; DEWHURST, R. J.; DUTHIE, C. A.; ROOKE, J. A.; MCKAIN, N.; ROSS, D. W.; E WALLACE, R. J. Bovine host genetic variation influences rumen microbial methane production with best selection criterion for low methane emitting and efficiently feed converting hosts based on metagenomic gene abundance. **PLoS genetics**, v. 12, n. 2, p. e1005846, 2016.

SANTOS, A. A. P.; VIDIGAL FILHO, A. L.; DO VALE VIDIGAL, L. L.; DE SOUZA, V. L.; DE FIGUEIREDO, A. M. B.; E PIACENTINI, M. T. S. Análise da rentabilidade do sistema semi-intensivo de engorda de bovinos com semiconfinamento. **Research, Society and Development**, v.11, n. 4, p. e10011427128-e10011427128, 2022.

SAKAMOTO, L. S. **Intensidades de emissão de gás metano de bovinos Nelore terminados a pasto e cruzados em confinamento**. 2018. 125 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018.

SARON, R. D. A. **Viabilidade econômica em sistema de engorda de bovinos de corte: um estudo de caso**. Trabalho de graduação. Faculdade de Engenharia – UNESP – Campus de Ilha Solteira. 2022.

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. Observatório do clima. **Emissões por estado: Mato Grosso**. 2023. Disponível em: <plataforma.seeg.eco.br/> Acesso em: 25 de junho de 2024.

SILVA, D. F.D. P. **Manejo de recria e terminação de bovinos de corte utilizando sistema de confinamento/sequestro de bezerros**. Trabalho de conclusão de curso. Escola de ciências médicas e da vida curso de zootecnia, Goiânia-GO, 2022.

SILVA, F.A.S. **Desempenho, produção de metano entérico, eficiência de utilização da energia, metabolismo proteico muscular e exigências nutricionais de novilhas Holandês× Zebu alimentadas com silagem de milho ou cana-de-açúcar**. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa. 2015.

SOREN, N.M.; SEJIAN, V.; MALIK, P.K. Emissão entérica de metano sob diferentes sistemas de alimentação. **Impacto da mudança climática na pecuária: adaptação e mitigação**, p. 187-208, 2015.

SVERSUTTI, P. E.; YADA, M. M. Criação extensiva de bovinos de corte. **SIMTEC - Simpósio de Tecnologia da Fatec Taquaritinga**, v. 5, n. 1, p. 382-391, 2019.

TAVENDALE, M. H.; MEAGHER, L. P.; PACHECO, D.; WALKER, N. ATTWOOD, G. T. E SIVAKUMARAN, S. Methane production from in vitro rumen incubations with *Lotus pedunculatus* and *Medicago sativa*, and effects of extractable condensed tannin fractions on methanogenesis. **Animal Feed Science and Technology**, v.123, p.403-419. 2005.

TEDESCHI, L. O.; FOX, D. G.; E TYLUTKI, T. P. Potential environmental benefits of ionophores in ruminant diets. **Journal of environmental quality**, v.32, n.5, p. 1591-1602. 2003.

TERTO, G. G.; DE SOUSA JÚNIOR, S. C.; SANTOS, K. R.; GUIMARÃES, J. E. C.; LUZ, C. S. M.; JÚNIOR, C. P. B.; E FONSECA, W. J. L. Características reprodutivas de bovinos da raça Nelore do meio Norte do Brasil. **Pubvet**, 6, Art-1387. 2016.

TSETEN, T.; SANJORJO, R.A.; KWON, M., E KIM; S.W. Estratégias para mitigar emissões entéricas de metano de animais ruminantes. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, n. 32, v 3, p. 269, 2022.

VARGAS, J; CÁRDENAS, E; PABÓN, M; E CARULLA, J. Emisión de metano entérico en rumiantes en pastoreo. **Archivos de zootecnia**, n.61, v. 237, p. 51-66. 2012.

VAZ, R. Z.; E LOBATO, J. F. P. Efeito da idade de desmame no desempenho reprodutivo de novilhas de corte expostas à reprodução aos 13/15 meses de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 142-150. 2010.

VILELA, R. A.; SILVA, A. O.; ROBL, A. A. B. Cuidados da introdução de ureia na alimentação de bovinos. **Revista Eletrônica Interdisciplinar**, v. 13, n. 1, p. 42-49, 2021.

WALL, E.; SIMM, G.; MORAN, D. Developing breeding schemes to assist mitigation of greenhouse gas emissions. **Animal**, v. 4, n. 3, p. 366-376, 2010.

WILLIAMS, Y. J.; POPOVSKI, S.; REA, S. M.; SKILLMAN, L. C.; TOOVEY, A. F.; NORTHWOOD, K. S.; E WRIGHT, A. D. G. A vaccine against rumen methanogens can alter the composition of archaeal populations. **Applied and environmental microbiology**, v.75, n.7, p. 1860-1866. 2009.

WRIGHT, A. D. G; KENNEDY, P; O'NEILL, C. J; TOOVEY, A. F; POPOVSKI, S; REA, S. M; E KLEIN, L. Reducing methane emissions in sheep by immunization against rumen methanogens. **Vaccine**, v.22, n. (29-30), p.3976-3985. 2004.