

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

LOUYSEANNE REZENDE XAVIER

**AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA SUBSTITUIÇÃO DA UREIA PECUÁRIA POR
NFEED®, NA PRODUÇÃO DE GÁS TOTAL E METANO IN VITRO**

CAMPO GRANDE – MATO GROSSO DO SUL

2025

LOUYSEANNE REZENDE XAVIER

**AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA SUBSTITUIÇÃO DA UREIA PECUÁRIA POR
NFEED®, NA PRODUÇÃO DE GÁS TOTAL E METANO IN VITRO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências para obtenção do título de bacharel em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Luís Carlos Vinhas Ítavo

CAMPO GRANDE – MATO GROSSO DO SUL

2025

LOUYSEANNE REZENDE XAVIER

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 06 de novembro de 2025, e
aprovado pela Banca Examinadora:

Orientador (a) Prof. Dr. Luís Carlos Vinhas Ítavo

Presidente

Dra. Priscilla Dutra Teixeira Borges

Membro da Banca

MSc. Luiz Antonio Rodrigues

Membro da Banca

Dedico esse trabalho a minha mãe Keylle Louise e família, que desde sempre me incentivaram e motivaram para essa conquista.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a DEUS por sempre por sempre ter iluminado minha trajetória

O desenvolvimento desse trabalho de conclusão de curso contou com ajuda de diversas pessoas, dentre as quais agradeço:

Ao meu orientador Prof. Dr. Luís Carlos Vinhas Ítavo, me orientando sobre o presente trabalho e a Dra. Priscilla Dutra Teixeira pela colaboração e ajuda no desenvolvimento do meu trabalho principalmente na parte escrita, ao mestrandos Luiz Antônio Rodrigues, que esteve nos processos desse estudo.

Agradeço também a banca avaliadora deste trabalho, que aceitaram estar presente na defesa, assim como avaliar de acordo com as normas o presente trabalho.

Trago meus agradecimentos a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) e Ministério da Educação (MEC), por me conceder a chance de cursar uma graduação bacharelado, me amparar com ajuda de custo como auxílios e também a me proporcionar a experiência de ter bolsa de iniciação científica, assim como apresentações em simpósio como o Integra, realizado na UFMS.

RESUMO

O metano (CH₄) produzido pela fermentação ruminal em bovinos de corte representa perda energética e impacto ambiental. A modulação da dieta, por meio da inclusão de ureia extrusada e óleos essenciais, pode otimizar o processo fermentativo, reduzir a emissão de CH₄ e aumentar a eficiência de utilização do nitrogênio. Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar os níveis de substituição de ureia pecuária por ureia extrusada enriquecida com óleos essenciais de alho e canela (NFeed®) na dieta de bovinos de corte sobre produção de gases total, concentrações de CH₄ e dióxido de carbono (CO₂) in vitro. O experimento foi conduzido na Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, no Laboratório de Nutrição Aplicada, em Campo Grande, MS. Foram testadas quatro dietas com diferentes fontes de nitrogênio não proteico: (1)100% ureia pecuária (UP), (2) 50% UP/50% NFeed®, (3) 25% UP/75% NFeed® e (4) 100% NFeed®. As dietas foram formuladas com proporção volumoso: concentrado de 33,5:66,5. A produção cumulativa de gás in vitro foi avaliada durante 12 horas de incubação utilizando o sistema Ankom-RF Gas Production System (Ankom Technology, NY, EUA). Os dados foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) e procedimentos de regressão no SAS. Houve efeito quadrático para produção total de gás ($P < 0,05$), com maior produção para o tratamento 75% NFeed®, apresentando média de 8,50mL. Não houve efeito da inclusão de NFeed® sobre a produção total de metano e CO₂ ($P > 0,05$). Porém, observou-se efeito quadrático em função do tempo de coleta para produção de metano ($P = 0,0001$). O ponto de máxima da derivada da equação de regressão para a estimativa da produção total de metano in vitro foi de 11,47 horas de incubação, onde ocorreu a maior produção (2,66mL) de metano durante as 12 horas de incubação in vitro das dietas. Já para produção de CO₂ teve efeito linear ao longo do tempo, com produção de 0,27 mL nas 12 horas de incubação in vitro. Avaliação dos efeitos da substituição da ureia pecuária por NFeed®, na produção de gás total e metano in vitro ($P = 0,0031$). A inclusão de 75% de NFeed® na dieta promove a melhor cinética da fermentação, evidenciada pelo aumento da produção total de gases, sem impactar as emissões CH₄ e CO₂.

Palavras Chave: gás in vitro, metano, ureia pecuária, Nfeed

ABSTRACT

Methane (CH_4) produced by ruminal fermentation in beef cattle represents both an energy loss and an environmental impact. Diet modulation through the inclusion of extruded urea and essential oils can optimize the fermentation process, reduce CH_4 emissions, and increase nitrogen use efficiency. Therefore, the objective of this study was to evaluate the replacement levels of feed-grade urea with extruded urea enriched with garlic and cinnamon essential oils (NFeed®) in the diet of beef cattle on total gas production, CH_4 , and carbon dioxide (CO_2) concentrations *in vitro*. The experiment was conducted at the Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science of the Federal University of Mato Grosso do Sul, in the Applied Nutrition Laboratory, located in Campo Grande, MS, Brazil. Four diets with different sources of non-protein nitrogen were tested: (1) 100% feed-grade urea (UP), (2) 50% UP /50% NFeed®, (3) 25% UP /75% NFeed®, and (4) 100% NFeed®. The diets were formulated with a roughage-to-concentrate ratio of 33.5:66.5. Cumulative *in vitro* gas production was evaluated over 12 hours of incubation using the Ankom-RF Gas Production System (Ankom Technology, NY, USA). Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) and regression procedures in SAS. A quadratic effect was observed for total gas production ($P < 0.05$), with the highest value for the 75% NFeed® treatment, showing an average of 8.50 mL. No significant effect of NFeed® inclusion was observed on total CH_4 and CO_2 production ($P > 0.05$). However, a quadratic effect was observed as a function of collection time for methane production ($P = 0.0001$). The maximum point of the derivative of the regression equation for the estimation of total *in vitro* methane production was 11.47 hours of incubation, at which the highest methane production (2.66 mL) occurred during the 12-hour *in vitro* incubation period. For CO_2 production, there was a linear effect over time, reaching 0.27 mL after 12 hours of *in vitro* incubation. Evaluation of the effects of replacing feed-grade urea with NFeed® on total gas and methane production *in vitro* ($P = 0.0031$) indicated that inclusion of 75% NFeed® in the diet promotes better ruminal degradation, as evidenced by increased total gas production, without affecting CH_4 and CO_2 emissions.

Keywords: *in vitro* gas, methane, livestock urea, Nfeed

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema do metabolismo das proteínas nos ruminantes	14
Figura 2. Via glicólica nos ruminantes	18
Figura 3. Produção total de gases <i>in vitro</i> em função dos níveis de NFeed®.....	25
Figura 4. Produção total <i>in vitro</i> de CH ₄ e CO ₂	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Ingredientes das dietas experimentais	22
Tabela 2. Equações de regressão ajustas para as estimativas da produção total de gases, produção total de CH ₄ e CO ₂ in vitro em função do nível de NFeed® e do tempo de incubação (0-12 horas)	23

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	10
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1	<i>USO DE URÉIA EXTRUSADA NAS DIETAS DE BOVINOS DE CORTE.....</i>	13
2.2	<i>USO DE ÓLEOS ESSENCIAIS NAS DIETAS DE BOVINOS DE CORTE.....</i>	15
2.3	<i>PRODUÇÃO DE GASES DA FERMENTAÇÃO.....</i>	17
3.	OBJETIVOS.....	20
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
6.	CONCLUSÃO.....	27
7.	REFERÊNCIAS.....	28

1. INTRODUÇÃO

O metano (CH_4) é um dos gases responsáveis pelo efeito estufa (GEE), pois representa uma contribuição relativa de 15% entre os gases e seu tempo de vida na atmosfera é de 10 anos, já o dióxido de carbono (CO_2) tem uma contribuição relativa de 60% e seu tempo de vida na atmosfera é de 50 a 200 anos (FAO, 2024). Com isso, os países do mundo têm suas contribuições na produção desses gases, como a China que aparece em primeiro lugar, emitindo cerca de 23,9%, em segundo lugar os EUA com 13,6%, em terceiro lugar a Índia com 6,8%, já o Brasil emite 2,9% gases do efeito estufa do mundo (PODER, 2018).

A pecuária, tem papel significativo nesse contexto, sendo responsável por uma parcela das emissões globais de metano devido aos processos de fermentação entérica e à decomposição de dejetos animais. Contudo a dieta dos animais exerce papel determinante na intensidade da fermentação ruminal e, consequentemente, carboidratos fibrosos resulta na produção de hidrogênio (H_2) e dióxido de carbono (CO_2), que são posteriormente convertidos em metano por microrganismos metanogênicos (FAO, 2024).

Considerando que os ruminantes representam uma das poucas fontes de emissão de metano passíveis de manipulação biológica, a modulação da dieta torna-se uma estratégia eficiente para otimizar o processo fermentativo. A inclusão de uréia extrusada e o uso de aditivos naturais, como os óleos essenciais, destacam-se nesse contexto. O produto NFeed® surge, assim, como uma alternativa sustentável para modular a fermentação ruminal, aumentar a eficiência de utilização do nitrogênio e reduzir as emissões de CH_4 , sem comprometer o desempenho dos animais.

Nesse contexto, os estudos realizados *in vitro* assumem papel fundamental na compreensão dos processos de fermentação ruminal e na avaliação de estratégias para redução das emissões de metano. Esse tipo de abordagem experimental permite controlar variáveis específicas, como tipo de dieta, dose de aditivos e tempo de fermentação, possibilitando uma análise detalhada do comportamento microbiano e da produção de gases. Além disso, os ensaios *in vitro*

são uma alternativa econômica, rápida e prática em relação aos estudos in vivo, já que reduzem o número de animais utilizados e fornecem resultados preliminares que orientam experimentos posteriores em escala real. Dessa forma, a utilização de técnicas in vitro contribui significativamente para o avanço do conhecimento científico sobre a modulação da fermentação ruminal, auxiliando no desenvolvimento de tecnologias sustentáveis para a pecuária e na mitigação dos impactos ambientais associados à produção animal (Benchaar et a.,2016).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Uso de uréia extrusada nas dietas de bovinos de corte

O aumento das dietas de alto concentrado nos confinamentos sofre ação direta das variações de preço dos grãos e impacta diretamente o custo da arroba produzida, uma vez que o custo da dieta pode superar 70% do custo total do confinamento. Dentre os nutrientes da dieta, a proteína é o com maior custo por quilo, sendo no Brasil, o farelo de soja a fonte mais utilizada por possuir um bom teor protéico de alto valor biológico (BERCHIELLI, 2006).

Porém, devido aos altos custos deste insumo, a busca por substitutos que possam minimizar estes custos passa a ser uma alternativa de suma importância na busca pela eficiência do sistema, sendo o nitrogênio não protéico (NNP) uma boa alternativa (MEDEIROS, 2015).

O NNP é um composto nitrogenado que não é aminoácido, utilizado como fonte de nitrogênio para as bactérias ruminais sintetizar proteína microbiana. A ureia é a principal fonte de NNP utilizada na alimentação de ruminantes por proporcionar nitrogênio solúvel para prover o crescimento microbiano, aumentando assim o fornecimento de Pmic intestinal e aminoácidos para o animal (BERCHIELLI, 2006).

A ureia, ao ser ingerida pelos ruminantes, é rapidamente hidrolisada em amônia (NH_3) e dióxido de carbono (CO_2) pela ação da urease, enzima produzida pelos microrganismos ureolíticos presentes no rúmen. Como o ambiente ruminal apresenta pH levemente ácido, a amônia reage com íons de hidrogênio (H^+) livres, formando o íon amônio (NH_4^+), que é utilizado pelas bactérias ruminais para a síntese de proteína microbiana (Figura 1) (MARTINS, 2016).

Após a formação dessa proteína, as bactérias passam pelas demais cavidades do estômago (retículo e omaso) e chegam ao abomaso, onde são degradadas pelas enzimas digestivas do animal, liberando aminoácidos e peptídeos. Esses compostos são, então, absorvidos no intestino delgado, principalmente no duodeno, contribuindo para o aporte de proteína metabolizável ao hospedeiro (Figura 1) (MARTINS, 2016).

A proteína microbiana constitui a principal fonte de aminoácidos metabolizáveis para os ruminantes e desempenha papel essencial na eficiência do aproveitamento do nitrogênio dietético. Sua formação ocorre no rúmen, esses microrganismos utilizam compostos nitrogenados e fontes de energia provenientes da fermentação de carboidratos para o crescimento e a síntese de proteínas celulares (CHURCH, 1993).

A proteína microbiana possui elevado valor biológico, pois apresenta um perfil de aminoácidos essencialmente equilibrado, sendo semelhante ao das exigências metabólicas do animal hospedeiro (VAN SOEST, 1994). Estima-se que entre 60 e 80% da proteína que chega ao intestino delgado seja de origem microbiana, o que evidencia sua relevância nutricional (RUSSELL et al., 1992).

Após serem arrastados do rúmen com o fluxo da digesta, os microrganismos são submetidos à digestão enzimática no abomaso e no intestino delgado, onde suas proteínas são hidrolisadas em peptídeos e aminoácidos. Esses aminoácidos são então absorvidos e utilizados pelo animal na síntese de tecidos corporais, na produção de leite, na formação de enzimas e hormônios, além de outras funções metabólicas essenciais (ÍTAVO et al., 2020).

Do ponto de vista nutricional, a eficiência de síntese de proteína microbiana (EMS) é um dos principais indicadores de desempenho ruminal, sendo influenciada pela disponibilidade energética, pelo pH do rúmen, pela taxa de passagem da digesta e pela qualidade da dieta (RUSSELL et al., 1992). Estratégias nutricionais, como o uso de fontes de nitrogênio de liberação lenta (por exemplo, uréia extrusada) e de aditivos moduladores da fermentação (como óleos essenciais), têm sido empregadas para otimizar a EMS e reduzir perdas de nitrogênio para o ambiente, contribuindo para uma pecuária mais eficiente e sustentável (NRC, 2016; VAN SOEST, 1994).

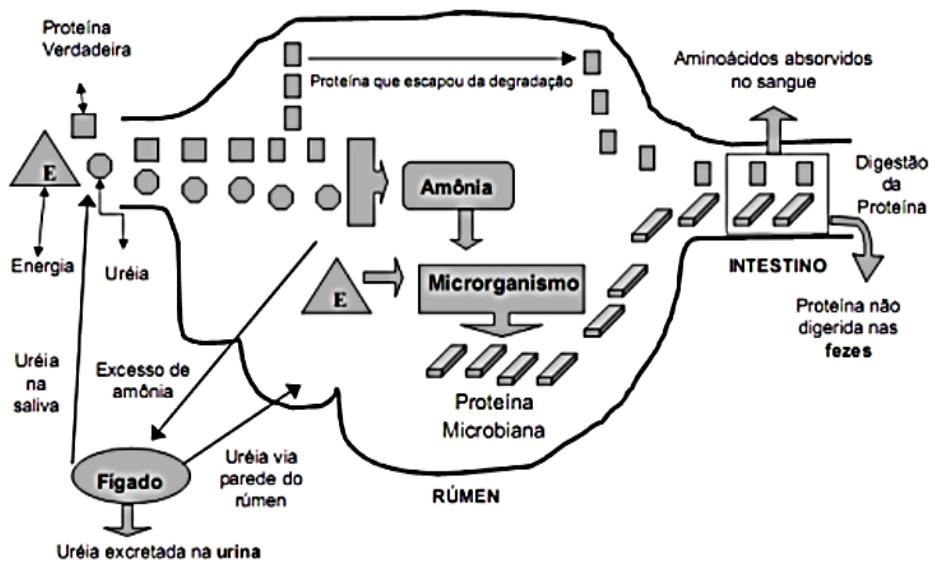


Figura 1. Esquema do metabolismo das proteínas nos ruminantes. Fonte: Adaptado de Texeira, 1992.

Dentre os diversos fatores que influenciam o uso do nitrogênio pelos ruminantes, estão a relação proteína:energia, a disponibilidade e quantidade de nitrogênio no rúmen e a adição de enxofre na dieta. No entanto um balanceamento adequado de energia e nitrogênio no rúmen, é fundamental para a síntese de proteína microbiana, que é importante para digestão e crescimento do ruminante (MEDEIROS, 2015).

Nesse sentido a ureia deve ser fornecida juntamente com a fonte de carboidratos de degradação rápida, atendendo a necessidade de energia para produção microbiana. Além disso, uma fonte de enxofre gera uma produção importante de aminoácidos essenciais pelos microrganismos. A junção da ureia ao amido auxilia na degradação, em que o amido é considerado a fonte de energia mais eficiente, devido a sua constante fermentação pelos microrganismos (ARAÚJO et al., 2019).

No entanto, o mau uso da ureia, como dosagem incorreta ou adaptação inadequada, pode levar a problemas de intoxicação (LOPES et al., 2000). Quando a ureia é convertida em excesso de amônia no rúmen, tornando-se tóxica, pois a amônia é absorvida em alta concentração, atingindo a corrente sanguínea e o fígado, podendo levar à morte (PEREIRA et al., 2008). Portanto a uréia extrusada, torna-se uma estratégia necessária para reduzir os riscos de intoxicação por

amônia, pois sua degradação funciona de forma controlada, uma liberação de amônia aos poucos no rúmen, permitindo que os microrganismos utilizam para sintetizar a proteína microbiana sem causar intoxicação, tornando seu uso mais seguro, eficiente e economicamente viável na suplementação de ruminantes (ÍTAVO et al., 2016).

A uréia extrusada é formada pela fusão da ureia com o amido gelatinizado, através de um processo de pressão, temperatura e umidade, obtendo-se assim a amiréia que altera a estrutura cristalina da ureia, o que promove benefícios como a sincronização da fermentação do amido e a liberação de amônia no rúmen (KOZERSKI et al. 2021).

Ítavo et al. (2016), avaliaram suplementos conteúdo ureia pecuária, ureia pecuária + ureia protegida + uréia extrusada ou uréia extrusada, e verificaram que a uréia extrusada poderia ser incluída no suplemento de novilhos de corte como única fonte de NNP, uma vez que possui solubilidade intermediária entre a ureia pecuária e ureia protegida, o que proporciona suprimento constante de amônia no rúmen.

2.2 Uso de óleos essenciais nas dietas de bovinos de corte

Os óleos essenciais são metabólitos secundários derivados de plantas aromáticas, obtidos por destilação a vapor ou por processos mecânicos a partir de folhas, flores, caules, sementes e frutos. Esses compostos apresentam propriedades aromáticas, antissépticas, conservantes, antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas (BENCHAAAR et al., 2008).

Alguns óleos essenciais apresentam mecanismo de ação semelhante ao dos ionóforos, atuando seletivamente sobre as populações microbianas do rúmen, especialmente inibindo bactérias gram-positivas e alterando o padrão fermentativo (STELLA et al., 2017). Os ionóforos, de modo análogo, modificam o gradiente iônico através da membrana celular bacteriana, interferindo na troca de íons como H^+ , Na^+ e K^+ , o que compromete o metabolismo microbiano e resulta na morte celular.

No caso dos óleos essenciais, a ação antimicrobiana ocorre predominantemente sobre bactérias gram-positivas, devido à maior permeabilidade de suas paredes celulares. No rúmen, apenas a forma hidrofóbica (não dissociada) dos compostos é capaz de interagir com os lipídeos das membranas microbianas. Em ambiente mais ácido, as moléculas dos óleos permanecem não dissociadas, o que potencializa seu efeito antimicrobiano. Essa interação altera a permeabilidade da membrana citoplasmática aos íons hidrogênio, sódio e potássio, promovendo desequilíbrios nos processos de transporte de elétrons, translocação de proteínas e fosforilação oxidativa, levando à perda do controle quimiosmótico e à morte bacteriana (COSTA, 2021).

Diversos estudos relatam que os óleos essenciais estimulam a atividade enzimática e exercem ação antimicrobiana contra bactérias gram-positivas, como *Streptococcus bovis* e *Lactobacillus* spp., responsáveis pela redução acentuada do pH ruminal e pelo acúmulo de ácido lático. Dessa forma, o uso desses compostos contribui para o controle da acidose ruminal e para a redução da produção de dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4) (COSTA, 2021; VILLALBA et al., 2010).

De maneira geral, a inclusão de óleos essenciais na dieta estimula a produção de ácido propiônico sem alterar a concentração total de ácidos graxos voláteis (AGV), reduz a relação acetato:propionato e diminui a emissão de metano (BENCHAAAR et al., 2008). No entanto, os efeitos dos óleos essenciais variam conforme o tipo de composto, a concentração utilizada, o modo de extração e as condições ambientais da planta de origem (CARVALHO et al., 2021).

Uma das principais limitações na utilização prática dos óleos essenciais está na dificuldade de aplicar as doses eficazes observadas em experimentos *in vitro*, uma vez que muitos desses compostos possuem odor e sabor intensos, o que pode afetar o consumo voluntário de matéria seca pelos animais. Além disso, a degradação ruminal, a adaptação da microbiota e a taxa de passagem da digesta influenciam significativamente os resultados observados *in vivo* (VILLALBA et al., 2010).

2.3 Produção de gases da fermentação

Para que os ruminantes apresentem fermentação ruminal adequada, algumas condições devem ser mantidas, como temperatura entre 38 e 41 °C, umidade relativa entre 85 e 90%, osmolaridade entre 260 e 340 mOsm e pH variando entre 5,5 e 7,2. Durante esse processo fermentativo, são gerados ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), como ácido acético, propiônico e butírico, além de gases como metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e hidrogênio (H_2). Esses produtos, juntamente com a proteína microbiana, constituem as principais fontes de energia para os ruminantes (CARVALHO, 2018).

Dentre os gases produzidos, o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2) são eliminados principalmente por meio da eructação e da respiração, resultando em perda energética que pode variar de 2 a 12% da energia bruta ingerida (MARTIN et al., 2009). Além disso, o metano é considerado o segundo gás de maior impacto sobre o efeito estufa, sendo responsável por aproximadamente 15% do aquecimento global (JUNIOR, 2013).

A Figura 2 ilustra as principais vias metabólicas da fermentação ruminal, destacando o processo de degradação dos carboidratos ingeridos pelos ruminantes.

A glicose e outros polissacarídeos estruturais são fermentados pela microbiota ruminal, originando piruvato, que serve como ponto central de ramificação para a produção dos ácidos graxos voláteis (AGV) — acético, propiônico e butírico — e dos gases dióxido de carbono (CO_2) e hidrogênio (H_2) (RUSSELL, 1992).

Durante a conversão do piruvato em ácido acético e butírico, ocorre liberação de H_2 . Esse hidrogênio, em ambiente anaeróbico, é utilizado pelas arqueias metanogênicas, que reduzem o CO_2 para formar CH_4 , fechando o ciclo do rúmen. Dessa forma, o metano funciona como um subproduto inevitável da fermentação, sendo essencial para manter o equilíbrio dos equivalentes redutores no sistema ruminal (MILLEN, 2006).

Por outro lado, a produção de ácido propiônico representa uma rota alternativa que consome H_2 , competindo com a formação de metano. Assim, dietas que favorecem a glicólise ruminal voltada para o propionato contribuem para a redução das emissões de CH_4 , melhorando a eficiência energética do animal (MILLEN, 2006).

Portanto, a imagem sintetiza o equilíbrio entre as vias fermentativas e as rotas de destinação do hidrogênio no rúmen, evidenciando a importância do controle nutricional na mitigação das perdas energéticas e na diminuição do impacto ambiental da pecuária (MILLEN, 2006).

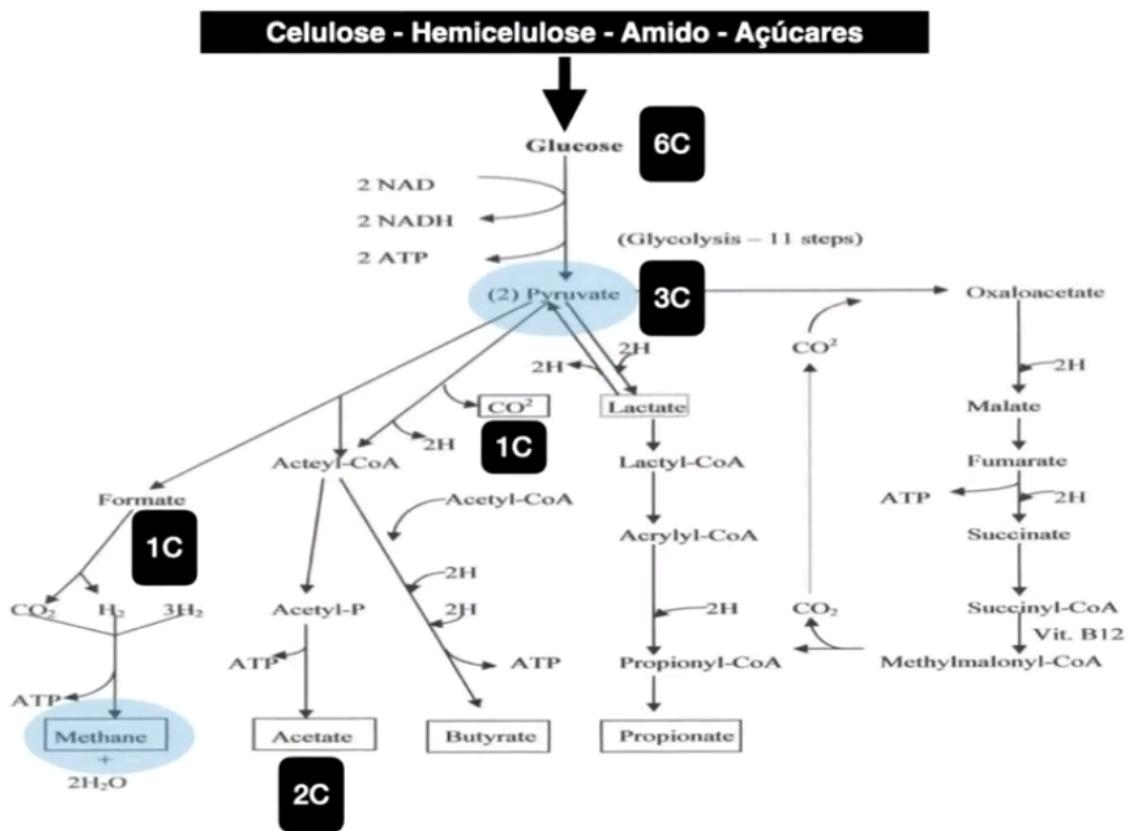


Figura 2. Via glicolítica nos ruminantes. Fonte: Danilo Millen, 2006.

A redução das emissões entéricas de CH_4 , associada ao aumento da eficiência de utilização de nutrientes, constitui um dos principais objetivos para a sustentabilidade da pecuária moderna (MIN et al., 2020). Como a formação de metano é consequência direta da fermentação ruminal, sua produção pode ser manipulada por meio da dieta, da ingestão de alimento e da composição dos ingredientes utilizados (MARTIN et al., 2009).

Por outro lado, dietas com maior proporção de concentrado reduzem a emissão de metano, pois a fermentação do amido favorece a produção de propionato — um ácido graxo que atua como sumidouro de hidrogênio e inibe o crescimento de microrganismos metanogênicos (RIVERA et al., 2010).

Diversas estratégias têm sido utilizadas para mitigar a produção de gases entéricos, incluindo o uso de ionóforos, óleos essenciais, taninos e lipídeos. Os

ionóforos, amplamente empregados como promotores de crescimento, alteram o padrão fermentativo e reduzem a produção de CH₄; contudo, há crescente interesse na substituição desses compostos por aditivos de origem natural, como os óleos essenciais, que apresentam efeitos promissores na modulação da fermentação ruminal e no controle da emissão de gases (CARVALHO, 2018).

3. OBJETIVO

O presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da substituição de diferentes proporções de uréia pecuária por uréia extrusada enriquecida com óleos essenciais de alho e canela (NFeed®) na dieta de bovinos de corte, buscando verificar a influência dessa substituição na produção total de gases, bem como nas emissões de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) in vitro, a fim de identificar uma estratégia nutricional sustentável que mantenha a eficiência fermentativa e reduza o impacto ambiental.

4.MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Nutrição Aplicada da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

Os procedimentos realizados neste animal estão de acordo com o Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA) e foram conduzidos de acordo com padrões éticos dos parâmetros cinéticos da fermentação ruminal.

O bovino doador de inóculo ruminal, possui fístula ruminal, sendo pertencente à Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. A coleta de líquido ruminal foi realizada pela manhã, a retirada foi manual, retirando o alimento do rúmen, filtrando em um tecido de algodão e armazenado em garrafa térmica.

As dietas (Tabela 1) foram formuladas segundo o BR-Corte 4.0 para ganhos médios de 1,6 kg/dia. Com proporção de volumoso e concentrado de 3,5:66,5. Utilizou-se a silagem de milho como único volumoso e os ingredientes dos concentrados foram grão de milho moído (peneira de 3 mm), farelo de soja, ureia pecuária e uréia extrusada enriquecida com óleos essenciais (NFeed ® - Pajoara Ind. e Comércio Ltda, Campo Grande-MS) e mistura mineral (Tabela 2)

A uréia extrusada enriquecida com óleos essenciais de alho e canela é obtido a partir do processamento de uma fonte de amido, uréia e enxofre, por meio do processo de extrusão, associado com inclusão de ativos vegetais de cinamaldeído, dialil dissulfeto, dialil trissulfeto e dialil tetrassulfeto encapsulados por camadas de lipídios que asseguram liberação controladas e proteção dos ingredientes.

Tabela 1. Ingredientes das dietas experimentais

	Dietas			
	100% UP	50% UP / 50% NFeed®	25% UP / 75% NFeed®	100% NFeed®
Composição das dietas (g/Kg MS)				
Silagem de milho	335.0	335.0	335.0	335.0
Milho moído	600.0	597.0	595.4	593.9
Farelo de soja	30.0	30.0	30.0	30.0
UEO	0.0	10.5	15.8	21.1
UP	15.0	7.5	3.8	0.0
Núcleo mineral ¹	20.0	20.0	20.0	20.0
Nutrientes (g/Kg MS)				
Matéria seca	541.6	569.6	624.7	600.6
Matéria orgânica	959.6	956.4	960.0	957.0
Proteína bruta	105.8	95.9	104.0	103.0
FDN	450.3	481.0	496.5	512.6
FDA	188.30	168.3	136.6	162.0
Extrato etéreo	14.5	12.2	14.6	14.4
Carboidratos não fibrosos	389.1	367.3	344.9	326.9

UP: ureia pecuária; NFeed®: uréia extrusada enriquecida com óleos essenciais. FDN: fibra em detergente neutro; FDA: fibra em detergente ácido; DIV: digestibilidade *in vitro*; g/Kg MS: gramas por quilogramas de matéria seca MS ¹ níveis de garantia por kg: 80 g de Fósforo, 200 g de Calcio, 123 g de Sódio, 2000 mg de Zinco, 1000 mg de Manganês, 400 mg de Cobre, 50 mg de Iodo, 50 mg de Cobalto e 5 mg de Selênio

Foram comparadas quatro dietas com distintos níveis de substituição de NFeed®: 100% ureia pecuária (UP), 50% UP/50% NFeed®, 25% UP/75% NFeed® e 100% NFeed®. As variáveis foram analisadas ao longo do tempo de incubação de 12 horas.

A produção de gás in vitro foi realizada conforme sugerido por Theodorou et al. (1994) e foi adaptada para o Sistema de Produção de Gás Ankom RF (Ankom Technology, NY, EUA). Inicialmente, todos os frascos foram purgados com CO₂. Em seguida, amostras triplicadas (1,0 g) por tratamento foram adicionadas aos frascos (310 mL) e 100 mL de solução tampão foram pré-aquecidos a 39 °C, visando um pH final de 6,8. Os frascos foram mantidos sob temperatura controlada (39 °C) e agitação. A pressão (psi) de cada frasco foi registrada a cada 5 min por 12 h e processada para produção cumulativa de gás (mL de gás/100 mg de MS incubada). Os dados de pressão em termos de volume foram convertidos para produção cumulativa de gás e corrigidos para espaços em branco (Zornitta, et al. 2021).

A produção do metano foi mensurada por meio da coleta dos gases produzidos nos frascos no tempo 12 horas, através de uma seringa de 2 ml conectada a válvula de escape de cada módulo, coletando o volume de 2 ml de gás a cada 15 min e injetado esse volume de gás no analisador de biogás infravermelho Gasboard - 3200L (Cubic 631 Sensor and Instrument Co., Ltd), para determinar a concentração de metano. Para a determinação do volume de metano, foi considerada a coleta da seringa de 2ml de gás a concentração de metano encontrada na análise de biogás.

A análise estatística dos dados de produção de gases, metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) foi realizada utilizando modelos de regressão, de acordo com o delineamento inteiramente casualizado composto por quatro tratamentos (100% UP; 50% UP/50% NFeed®; 25% UP/75% NFeed®; 100% NFeed®), avaliados ao longo de 12 horas de incubação.

Os dados de produção cumulativa de gases foram inicialmente verificados quanto à normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias. Para avaliar o efeito dos níveis de inclusão de NFeed® e do tempo de incubação (t), ajustaram-se modelos de regressão polinomial (linear e quadrático), selecionados com base na

significância dos coeficientes, no coeficiente de determinação (R^2) e no critério de Mallows(p)).

A significância estatística foi determinada pelo teste F, adotando-se nível de significância de 5% ($P < 0,05$). Especificamente, para a produção total de gases, foi ajustado modelo quadrático em função do nível de NFeed® e do tempo de incubação. Para a produção total de CH_4 , utilizou-se modelo quadrático em função do tempo. Para a produção de CO_2 , ajustou-se o modelo linear ao longo das 12 horas de incubação.

5.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito quadrático para produção total de gás ($P < 0,05$; Figura 3), com maior produção para o tratamento 75% NFeed®, apresentando média de 8,50 mL. No entanto, não houve efeito da inclusão de NFeed® sobre a produção total de metano e CO₂ ($P > 0,05$; Figura 4).

Observou-se efeito quadrático em função do tempo de coleta para produção de metano ($P = 0,0001$; Tabela 2). O ponto de máxima da derivada da equação de regressão para a estimativa da produção total de metano *in vitro* foi de 11,47 horas de incubação, em que ocorreu a maior produção (2,66 mL) de metano durante as 12 horas de incubação *in vitro* das dietas. Já para produção de CO₂ teve efeito linear ao longo do tempo, com produção de 0,27 mL nas 12 horas de incubação *in vitro* ($P = 0,0031$).

Esse resultado indica que a inclusão de NFeed® pode ter favorecido a fermentação ruminal, promovendo maior degradação do substrato sem intensificar as vias de metanogênese. Evidências de estudos utilizando ureia de liberação lenta (SRU) demonstram comportamento semelhante, com aumento da produção total de gases *in vitro* e melhoria na eficiência do nitrogênio microbiano, sem elevação proporcional nas emissões de metano (GUO et al., 2022; LIANG et al., 2020). Uma possível explicação decorre da capacidade da comunidade microbiana ruminal de se reorganizar metabolicamente, direcionando uma fração maior do carbono para a formação de biomassa microbiana e ácidos graxos voláteis, em detrimento da produção de CH₄. Esse redirecionamento fermentativo é frequentemente apontado como uma estratégia promissora para mitigar emissões de metano, ao mesmo tempo em que aumenta a eficiência metabólica do rúmen. Além disso, estudos clássicos já demonstraram que maior eficiência microbiana está associada à menor excreção de nitrogênio e à redução da geração de gases por unidade de substrato fermentado (SANTOS et al., 1999).

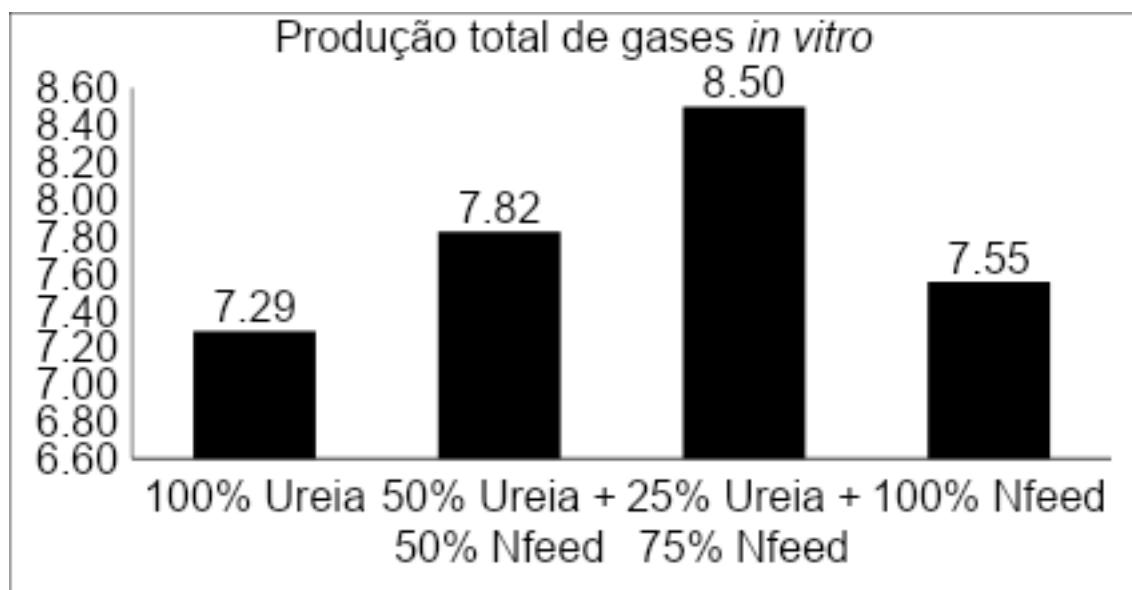


Figura 3. Produção total de gases *in vitro* em função dos níveis de NFeed®.

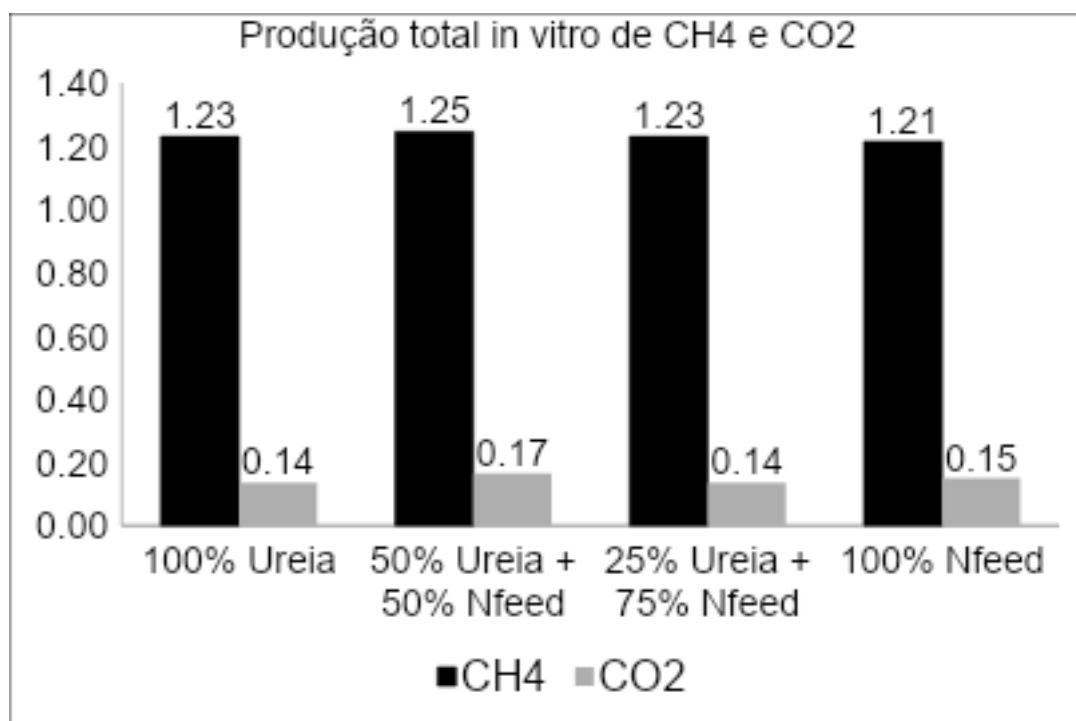


Figura 4. Produção total *in vitro* de CH₄ e CO₂

Tabela 2. Equações de regressão ajustadas para as estimativas da produção total de gases, produção total de CH₄ e CO₂ in vitro em função do nível de NFeed® e do tempo de incubação (0-12 horas).

	Equação de regressão	R2	C(p)	P-valor
Produção total de gases	$Y = 1,476758 + 0,02383.x - 0,00024771.x^2 + 0,73355.t - 0,02234.t^2$	0,89	5,00	0,0001
Produção total de CH ₄	$Y = 0,45535 + 0,12848.t - 0,00560.t^2$	0,90	1,98	0,0001
Produção total de CO ₂	$Y = 0,09041 + 0,01526.t$	0,14	2,12	0,0031

6.CONCLUSÃO

A substituição de 75% da ureia por NFeed® melhorou a fermentação ruminal, elevando a produção total de gases in vitro sem aumentar as emissões de CH₄ e CO₂. Dessa forma, o uso de NFeed® apresenta potencial como alternativa nutricional eficiente, contribuindo para o melhor desempenho fermentativo sem impacto negativo sobre a produção de gases de efeito estufa.

7.REFERÊNCIAS

- BEAUCHEMIN, K. A. et al. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v. 48, p. 21–27, 2008.
- BENCHAAR, C. et al. A review of plant derived essential oils in ruminant nutrition and production. *Animal Feed Science and Technology*, v. 145, p. 209–228, 2008.
- BENCHAAR, C. et al. In vitro screening of essential oils for methane mitigation. *Animal*, v. 10, n. 9, p. 1631–1638, 2016.
- BENETEL, G. et al. Essential oils as in vitro rumen manipulators. *Molecules*, v. 27, p. 2227, 2022.
- BMC VETERINARY RESEARCH. Encapsulated phytogenic oils reduce methane. *BMC Veterinary Research*, v. 21, n. 48, 2025.
- CARVALHO, B. F. et al. Essential oils as feed additives. *Animal Feed Science and Technology*, v. 272, p. 114–732, 2021.
- CARVALHO, R. F. Óleos essenciais como modificadores da fermentação ruminal para mitigação de metano entérico em ruminantes. 2018. Tese (Doutorado) – FMVZ/USP, São Paulo, 2018.
- CARMONA, J. C.; BOLÍVAR, D. M.; GIRALDO, L. A. El gas metano en la producción ganadera. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, v. 18, n. 1, p. 49–62, 2005.
- CHURCH, D. C. *The ruminant animal: digestive physiology and nutrition*. 2. ed. Englewood Cliffs: Waveland Press, 1993.
- COSTA, C. R. A. Ação de óleos essenciais sobre a fermentação ruminal. Dissertação (Mestrado) – UFV, 2021.
- FAO. *Livestock and enteric methane*. Rome: FAO, 2024.
- GUO, Y. et al. Effect of commercial slow-release urea product on in vitro rumen fermentation and ruminal microbial community using RUSITEC technique. *Journal of*

ÍTAVO, L. C. V. et al. In vitro digestibility and models of cumulative gas production of forage-free diet. *Animals*, v. 13, n. 3515, p. 1–11, 2023.

KHORRAMI, B. et al. Thyme and cinnamon essential oils as rumen modifiers. *Animal Feed Science and Technology*, v. 200, p. 8–16, 2015.

LASSEY, K. R. et al. Methane emissions measured directly from grazing livestock. *Atmospheric Environment*, v. 31, n. 18, p. 2905–2914, 1997.

MANASRI, N.; WANAPAT, M.; NAVANUKRAW, C. Improving rumen fermentation. *Livestock Science*, v. 148, p. 291–295, 2012.

MARTINS, N. R. S. (org.). *Ureia nas dietas de ruminantes*. Belo Horizonte: FEPMVZ Editora, 2016.

MEDEIROS, S. R.; GOMES, R. C.; BUNGENSTAB, D. J. (eds.). *Nutrição de bovinos de corte*. Brasília: Embrapa Gado de Corte, 2015.

MOLHO-ORTIZ, A. A. et al. Effect of plant extracts on rumen fermentation. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, v. 10, n. 2, p. 110–117, 2022.

MORGAVI, D. et al. Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal*, v. 4, n. 7, p. 1024–1036, 2010.

NRC. *Nutrient requirements of beef cattle*. 8. ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 2016.

NUSSIO, L. G.; CAMPOS, F. P.; LIMA, M. L. M. Metabolismo de carboidratos estruturais. In: BERCHIELLI, T. T. et al. *Nutrição de ruminantes*. Jaboticabal: Funep, 2006.

OECD; FAO. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2025–2034*. Paris: OECD Publishing, 2025.

PIXÂO, M. L. et al. Uréia em dietas para bovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 35, n. 6, p. 2451–2460, 2006.

RIVERA, A. R. et al. Fermentação ruminal e produção de metano. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, n. 3, p. 617–624, 2010.

RUSSELL, J. B. et al. A net carbohydrate and protein system for cattle diets. *Journal of Animal Science*, v. 70, p. 3551–3561, 1992.

SANTOS, W. B. et al. In vitro evaluation of NPN combinations. *Journal of Animal Science*, v. 102, p. 1–12, 2024.

STELLA, A. V. et al. Effect of essential oils on rumen fermentation. *Animal Feed Science and Technology*, v. 231, p. 1–10, 2017.

TEIXEIRA, J. C.; DELGADO, E. F.; CORRÊA, E. M. Degradabilidade da amiréia 45S. In: SBZ, 1992.

THEODOROU, M. K. et al. A simple gas production method. *Animal Feed Science and Technology*, v. 48, p. 185–197, 1994.

VAN SOEST, P. J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994.

VILLALBA, J. J. et al. Plant secondary metabolites and fermentation. *Animal Feed Science and Technology*, v. 162, p. 1–15, 2010.

XIA, Z. et al. Rumen fermentation influenced by essential oils and fumarate. *Animal Feed Science and Technology*, v. 166–167, p. 409–417, 2011.

ZORNITTA, C. S. et al. Cinética da produção de gases in vitro. *Fermentação*, v. 7, p. 298, 2021.