

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL
Departamento de Zootecnia

Trabalho de Conclusão de Curso

**EFEITOS DA SUPLEMENTAÇÃO COM DIFERENTES QUANTIDADES DE
DDGS SOBRE DESEMPENHO E EMISSÃO DE METANO ENTÉRICO EM
TOURINHOS NELORE RECRIADOS A PASTO**

Lucas dos Santos Del Vecchio

Jaboticabal – SP
2º Semestre de 2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL
Departamento de Zootecnia

Trabalho de Conclusão de Curso

**EFEITOS DA SUPLEMENTAÇÃO COM DIFERENTES QUANTIDADES DE
DDGS SOBRE DESEMPENHO E EMISSÃO DE METANO ENTÉRICO EM
TOURINHOS NELORE RECRIADOS A PASTO**

Lucas dos Santos Del Vecchio

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Andrade Reis

Coorientador: Me. Matheus Mello Silva

Trabalho de Conclusão de Curso (Iniciação Científica) apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal – SP, como parte das exigências para graduação em Zootecnia.

Jaboticabal – SP

2º Semestre de 2025

D367e Del Vecchio, Lucas dos Santos

Efeitos da suplementação com diferentes quantidades de DDGS sobre desempenho e emissão de metano entérico em tourinhos Nelore recriados a pasto / Lucas dos Santos Del Vecchio. -- Jaboticabal, 2025

51 p. : tabs.

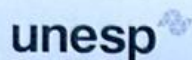
Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Ricardo Andrade Reis

Coorientador: Matheus Mello Silva

1. Ruminantes. 2. Metano. 3. Capim-braquiaria. 4. Suplementos nutricionais.

I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
Campus Jaboticabal



Lucas dos Santos Del Vecchio

**EFEITOS DA SUPLEMENTAÇÃO COM DIFERENTES QUANTIDADES DE DDGS
SOBRE DESEMPENHO E EMISSÃO DE METANO ENTÉRICO EM TOURINHOS
NELORE RECRIADOS A PASTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Andrade Reis

Coorientador (se houver): Mc. Matheus Mello Silva

Área de Concentração: Zootecnia

Trabalho aprovado em 27/11/2025

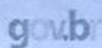
Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
RICARDO ANDRADE REIS
Data: 10/12/2025 16:40:49-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Ricardo Andrade Reis

UNESP - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Campus de Jaboticabal



Documento assinado digitalmente
JULIANA DUARTE MESSANA
Data: 10/12/2025 16:13:14-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dr. Juliana Duarte Messana

UNESP - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Campus de Jaboticabal



Documento assinado digitalmente
IGOR MACHADO FERREIRA
Data: 10/12/2025 15:51:18-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dr. Igor Machado Ferreira

UNESP - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Campus de Jaboticabal

Prof. Dr. José Maurício Barbanti Duarte
Chefe do Departamento

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos os envolvidos que, de alguma forma, contribuíram positivamente durante esses 5 anos de graduação.

Um agradecimento especial à minha família: à minha mãe, Miriam, ao meu pai, Beto, à minha irmã, Laura, à minha tia, Bel, e ao meu tio, Dri. Vocês foram essenciais durante todo esse período pelo suporte, pela criação e pelo apoio incondicional.

À minha namorada, Júlia, por todo o apoio, amor e por ser meu refúgio em dias difíceis nesses últimos anos, você foi essencial.

A todos os companheiros da República Boi Banguelo com quem tive contato, principalmente ao Rabisco e ao Çuicida, amigos do colégio agrícola que seguiram fazendo parte da minha trajetória na graduação.

Ao Marcha, Topera, Embaixador e Bugue Véio, por serem companheiros de sala fora do cabo, vocês são feras!

Aos companheiros do time Jabuka Team, pelo futebol, futsal, pelas festas, pelos inters e por tantas histórias.

Ao grupo UnespFOR, um lugar que me abriu portas que eu jamais imaginei que poderiam ser abertas. Agradeço a todos os amigos e amigas que fiz, e deixo um agradecimento especial ao meu orientador, Ricardo Reis, e aos meus dois coorientadores, Fiona e Perna, pela paciência, oportunidade, parceria e confiança.

Agradeço à FAPESP pelo apoio proporcionado por meio da bolsa de iniciação científica, que viabilizou a execução e o aprofundamento das pesquisas apresentadas neste TCC.

E, por fim, agradeço a Deus pela sabedoria, pela força e por me permitir viver tudo o que vivi até hoje.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	7
2. REVISÃO DA LITERATURA	10
2.1 <i>Manejo de pastagens</i>	10
2.2 <i>Suplementação estratégica</i>	12
2.3 <i>Teores de suplementação animal na época das águas</i>	15
2.4 <i>DDGS</i>	17
2.5 <i>Metano entérico</i>	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 <i>Caracterização do local de condução das pesquisas e período experimental</i>	23
3.2 <i>Avaliação da massa e composição química da forragem</i>	24
3.3 <i>Consumo de matéria seca</i>	26
3.4 <i>Emissões de metano entérico</i>	27
3.5 <i>Desempenho animal</i>	28
3.6 <i>Análises estatísticas</i>	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5. CONCLUSÃO	33
6. RESUMO	34
7. SUMMARY	35
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui o maior rebanho comercial de bovinos do mundo e está entre os principais líderes na exportação de carne bovina, com destaque para produção com base majoritariamente em sistemas a pasto (ABIEC, 2025). Entretanto, o sistema ainda enfrenta desafios ligados à baixa produtividade média, tais como a degradação das pastagens, o desequilíbrio entre a quantidade e a qualidade dos nutrientes fornecidos em relação às necessidades dos animais e a alta intensidade de emissão de gases de efeito estufa (PEREIRA et al., 2024). A pecuária de corte brasileira possui papel estratégico na segurança alimentar global, na geração de emprego e na ocupação territorial do país, contribuindo significativamente para o Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio nacional.

Nas últimas décadas, a intensificação sustentável do sistema produtivo tem sido apontada como caminho para conciliar eficiência zootécnica e a responsabilidade ambiental. Estratégias incluem o melhor manejo de pastagens, suplementação estratégica, aumento da eficiência alimentar e uso de insumos alimentares alternativos (TAMBARA et al., 2021). Cardoso et al., (2016) observaram que a intensificação sustentável da pecuária se configura como uma estratégia viável para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, ao mesmo tempo em que promove avanços na sustentabilidade ambiental da produção de carne bovina no Brasil.

Como parte dessas estratégias, o manejo adequado de pastagens tem recebido destaque devido ao seu impacto direto na produtividade e na dinâmica de sustentabilidade do sistema. Um estudo conduzido por Ongaratto et al. (2021), avaliou pastagens de *Urochloa brizantha* cv. Marandu sob lotação contínua, mantendo a altura de 25 cm por meio do ajuste de lotação utilizando a técnica “put-and-take” (AIKEN, 2016) e diferentes doses de nitrogênio, técnica que permitiu otimizar o uso da pastagem, manter estrutura adequada do dossel e garantir desempenho animal adequado, evidenciando que o controle da altura do pasto constitui uma estratégia de intensificação eficiente e sustentável para sistemas tropicais.

Dentre as etapas produtivas que podem se beneficiar desse tipo de intensificação, destaca-se a fase de recria. Essa fase demanda estratégias nutricionais e de manejo capazes de sustentar altas taxas de crescimento, garantindo que os animais expressem seu potencial e avancem para a terminação de forma eficiente (COELHO et al., 2024). Contudo, dados de benchmarking levantados pela Cargill Nutrição Animal, avaliando aproximadamente 200 mil animais, indicam que o ganho médio diário de bovinos na fase de recria mantidos em pastagens no Brasil é de aproximadamente 0,463 kg/dia, valor que representa o desempenho médio observado em sistemas comerciais nacionais (CARGILL NUTRIÇÃO ANIMAL, 2022). Desempenhos semelhantes ou inferiores a esse patamar costumam refletir limitações nutricionais, especialmente relacionadas ao baixo aporte de proteína e energia, geralmente decorrentes da má qualidade das pastagens e da oferta insuficiente de nutrientes aos animais (TEDESCHI et al., 2024). A má qualidade das pastagens tropicais pode ser explicada por Dias et al. (2024), que demonstraram que forragens contendo cerca de 7,5% de proteína bruta e valores de FDN acima de 60% apresentam baixa qualidade nutricional, pois limitam a disponibilidade de nitrogênio no rúmen e reduzem o potencial de consumo e digestibilidade pelos bovinos em pastejo. Nessas condições, mesmo que ganhos de peso próximos a 465 g/dia possam ser observados, esse desempenho não é considerado satisfatório.

Diante desse cenário, estratégias de suplementação tornam-se essenciais para suprir déficits de proteína e energia e sustentar ganhos de peso adequados durante a recria (REIS et al., 2009). Entre as alternativas nutricionais de maior aplicabilidade em sistemas baseados em pastagens tropicais, destaca-se o uso de coprodutos agroindustriais, especialmente aqueles não competitivos com a alimentação humana, como o DDGS (Dried Distiller's Grains with Solubles), proveniente da indústria de etanol de milho, que se apresenta como suplemento proteico-energético para bovinos em pastejo (ROSA E SILVA et al., 2024).

O DDGS caracteriza-se por apresentar elevada fração de proteína não degradável no rúmen (PNDR), atributo relevante para atender às exigências

proteicas de animais em crescimento. Engel et al. (2008), ao avaliarem a degradabilidade ruminal do DDG, observaram que o coproduto possui alta proporção de PNDR, variando entre 47 e 57%, o que reforça seu potencial na suplementação de animais jovens, cujo requerimento de proteína metabolizável é mais elevado. Nesse sentido, seu uso tem sido recomendado como estratégia para incrementar o desempenho de bovinos em recria, especialmente em sistemas baseados em pastagens tropicais (REIS & ROMANZINI, 2020). O DDG pode ser uma alternativa de suplementação economicamente viável quando comparada às fontes proteicas tradicionais, como farelo de soja e farelo de algodão (PICANÇO et al., 2024). Além disso, sua utilização contribui para melhorar a eficiência ruminal, favorecendo a síntese de proteína microbiana e reduzindo a excreção de nitrogênio no ambiente (ARAÚJO et al., 2021).

Nesse contexto, estudos recentes têm demonstrado que a suplementação com DDGS, além de promover aumento do desempenho animal, também reduz a intensidade de emissão entérica de metano, mecanismo fundamental para sistemas pecuários de baixo carbono (MALIK et al., 2024). Em paralelo, cresce a preocupação global com a mitigação das emissões de GEE na agropecuária, especialmente do CH₄ entérico, gás associado à fermentação ruminal e com alto potencial de aquecimento global (ARNDT et al., 2021). Contudo, estratégias nutricionais como a suplementação animal surgem como alternativas para mitigação das emissões, atuando sobre as rotas fermentativas e na dinâmica do ambiente ruminal, reduzindo a proporção de energia perdida na forma de metano (BERCHIELLI et al., 2021; RIVERA-HUERTA et al., 2022).

A avaliação de planos nutricionais baseados na análise de diferentes quantidades de suplementação com DDGS em condições de pasto tropical representa uma oportunidade promissora para a pecuária nacional, conjugando produção, eficiência alimentar e sustentabilidade ambiental. O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes quantidades de DDGS sobre o desempenho e as emissões de metano entérico de tourinhos Nelore em sistema de recria a pasto manejado sob lotação contínua durante o período das águas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 *Manejo de pastagens*

Segundo dados da Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne (ABIEC, 2025), o rebanho bovino brasileiro está estimado em aproximadamente 194 milhões de cabeças distribuídas em uma área de 160 milhões de hectares de pastagem em todo o território nacional. No entanto, um dos principais fatores da agropecuária que impactam negativamente o meio ambiente são as pastagens degradadas, devido às emissões de gases de efeito estufa, ao desmatamento e à degradação do solo (DOS SANTOS et al., 2024). Estima-se que cerca de 55% da área total de pastagens do território nacional corresponda a áreas degradadas utilizadas para produção de bovinos (CARDOSO et al., 2020).

Nesse contexto, a pecuária brasileira deve ser intensificada com aproveitamento eficiente de todos os recursos presentes em cada sistema produtivo, cuja eficiência pode ser mensurada por índices zootécnicos e produtivos, tanto por animal quanto por área (PASQUINI NETO et al., 2025). Entretanto, quando a disponibilidade e a qualidade da forragem são limitadas, o desempenho zootécnico tende a cair, o que resulta no aumento da emissão de gases de efeito estufa (GEE) por hectare e, conseqüentemente, compromete a sustentabilidade do sistema de produção (CARDOSO et al., 2022).

Segundo Hodgson et al. (1990), o manejo de pastagens realizado de forma correta é responsável por até 80% da eficiência de produção da atividade. Portanto, a intensificação sustentável das pastagens não apenas eleva a eficiência produtiva, como também desempenha um papel central na redução das emissões de gases de efeito estufa na pecuária brasileira. O grande desafio, contudo, consiste em utilizar as pastagens de forma a equilibrar o ecossistema e, ao mesmo tempo, aumentar a produtividade por animal e por área. Para tanto, é necessário adotar práticas de manejo que respeitem a capacidade do solo e da forrageira, assegurando a oferta de forragem de alto valor nutritivo (CARDOSO et al., 2016; REIS et al., 2012; HUHTANEN et al., 2024).

O aumento da eficiência e da produtividade em sistemas de bovinos de corte em pastejo está diretamente relacionado à adoção de práticas que assegurem a oferta de forragem de qualidade. Nesse contexto, eficiência refere-se à capacidade do sistema em transformar a forragem produzida em ganho de peso animal, abrangendo tanto a eficiência de uso da pastagem (proporção do pasto realmente consumida) quanto a eficiência de conversão do alimento em crescimento (NABINGER, 1997). Já a produtividade diz respeito à quantidade total produzida por área, como por exemplo, kg de peso vivo ou arrobas por hectare ao ano. Entre as mais relevantes práticas que asseguram a oferta de forragem de qualidade, destacam-se o manejo do pasto com controle da altura, auxiliada pelo controle da taxa de lotação (BARBERO et al., 2015; KOSCHECK et al., 2020). Este manejo, aliado à adubação, especialmente a nitrogenada, que favorece maior produção de biomassa, melhora o valor nutritivo da forragem e amplia a capacidade de suporte do sistema (DELEVATTI et al., 2019; FONSECA et al., 2022; GALINDO et al., 2018; LIMA et al., 2022; PASQUINI NETO et al., 2024).

No período das águas, o manejo das pastagens deve priorizar a manutenção de uma oferta constante de forragem de qualidade, o que pode ser alcançada por meio do ajuste da intensidade de pastejo. Essa prática busca garantir elevados rendimentos por animal e por área, respeitando os princípios morfofisiológicos das plantas forrageiras. Assim, favorece-se a persistência das pastagens, evita-se a degradação do solo e assegura-se a sustentabilidade e a produtividade do sistema (SOLLENBERGER et al., 2020).

Segundo Casagrande et al. (2011), uma prática de extrema importância é a utilização da altura do pasto como critério de manejo, uma vez que se trata de uma estratégia eficiente para ajustar tanto a quantidade de forragem disponível quanto a taxa de lotação. Esse tipo de controle assegura o equilíbrio entre o crescimento da planta e seu aproveitamento pelos animais, impactando diretamente a estrutura do dossel forrageiro e refletindo no consumo e no desempenho dos animais. Os mesmos autores destacam que o manejo adequado das pastagens aliado à suplementação estratégica pode aumentar a produção de forragem e melhorar a qualidade do solo. Essa combinação também

possibilita desempenho zootécnico igual ou superior ao observado em sistemas que dependem de suplementação intensiva em pastagens degradadas.

Desta forma, o uso da suplementação pode potencializar o desempenho produtivo dos animais, possibilita o uso mais eficiente dos recursos forrageiros, reduzindo a necessidade de expansão de áreas de pastagem e, conseqüentemente, favorecendo a conservação ambiental. Assim, o uso do DDGS em sistemas de pastagens, no contexto de planejamentos estratégicos de suplementação, apresenta-se como uma alternativa promissora para conciliar ganhos em produtividade com as exigências ambientais e econômicas da pecuária de corte nacional.

2.2 Suplementação estratégica

Com a crescente demanda mundial por alimentos, a pecuária brasileira consolidou-se como uma das principais potências globais na produção de carne bovina. Entretanto, apesar dos avanços no setor, aumentam as preocupações em relação às emissões de gases de efeito estufa (GEE) associadas aos diferentes sistemas de produção animal (OPIO et al., 2013; CARDOSO et al., 2016). Estratégias que visem mitigar essas emissões são fundamentais para conter o aquecimento global no curto prazo (ARNDT et al., 2021).

Entre as estratégias mais estudadas para a mitigação das emissões de GEE, em especial do metano entérico, destaca-se a modificação da dieta dos ruminantes (O'MARA, 2008; BEAUCHEMIN et al., 2008). A composição da dieta, em qualidade e quantidade, influencia diretamente os processos fermentativos ruminais e, conseqüentemente, a produção de metano (RUGGIERI et al., 2020). Assim, o manejo nutricional assume papel central como ferramenta de controle das emissões.

A suplementação alimentar, sobretudo em sistemas intensivos, tem sido amplamente empregada para melhorar o desempenho zootécnico e, simultaneamente, reduzir a produção de metano (BLAXTER, 1965). Para isso, é essencial considerar a eficiência do sistema produtivo no planejamento da suplementação, essa eficiência pode ser entendida como a capacidade do

sistema de converter seus recursos em ganho de peso animal com equilíbrio entre a eficiência animal, equilíbrio ambiental e viabilidade econômica.

Nos sistemas tropicais de recria e terminação, a suplementação estratégica consolidou-se como alternativa eficaz para reduzir a pegada de carbono da produção de carne bovina (D'AUREA et al., 2021). A utilização de coprodutos agroindustriais, como farelo de algodão e gérmen de milho desengordurado, aliada ao manejo intensivo das pastagens, tem proporcionado ganhos expressivos de desempenho, incluindo maior taxa de ganho de peso, redução da idade ao abate e melhoria da eficiência alimentar (CONGIO et al., 2021).

Estudos conduzidos na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Unesp de Jaboticabal demonstraram a viabilidade de fontes alternativas na dieta de bovinos, destacando a polpa cítrica como fonte energética e o grão seco de destilaria (DDG) como fonte proteica de baixa degradação ruminal (HOFFMANN et al., 2021; BERÇA et al., 2021). A inclusão desses ingredientes aumenta o desempenho produtivo e contribui para a redução das emissões de GEE por unidade de produto, principalmente metano entérico, além de promover maior eficiência no uso da terra (DALLANTONIA et al., 2021).

De acordo com Leite et al., (2021), no período das águas, pastos manejados sob lotação contínua, com base na interceptação luminosa de 95% apresentam alto valor nutritivo, pois o manejo favorece maior proporção de folhas e reduz material senescente. Nessas condições, ocorre aumento do teor de proteína bruta (PB), que pode variar de 10,3% a 17,2% na matéria seca, além de melhoria no fracionamento proteico, com predomínio de componentes solúveis rapidamente degradáveis no rúmen, que aumentam de 36,3% para 43,3% da PB, e redução da fração insolúvel e indisponível ao animal, de 12,5% para 9,8%. Além disso, há diminuição das frações fibrosas, como a fibra em detergente neutro (FDN), que reduz de 60,9% para 55,6%, a fibra em detergente ácido (FDA), que diminui de 32,7% para 29,4%, e a redução na fração de fibra em detergente neutro indigestível (FDNi), que passou de 18,8% para 15,6% da matéria seca com o aumento da adubação nitrogenada.

Nesse contexto, Delevatti et al. (2019) demonstraram que pastagens de *Urochloa brizantha* cv. Marandu submetidas à adubação nitrogenada apresentam melhoria significativa na qualidade da forragem, evidenciada pelo aumento do teor de proteína bruta e pela redução das frações fibrosas, resultando em maior digestibilidade e maior valor nutritivo para animais em pastejo. Esses efeitos refletem um dossel mais folhoso, com maior disponibilidade de compostos nitrogenados para o metabolismo ruminal. Estes efeitos podem ser potencializados quando associados à suplementação. A oferta de suplementos que elevam o teor de carboidratos rapidamente fermentáveis favorece a sincronia entre energia fermentescível e nitrogênio solúvel no rúmen. Essa sincronia otimiza o crescimento microbiano, aumentando a síntese de proteína microbiana, que constitui a principal fonte de aminoácidos absorvíveis pelos ruminantes (DETMANN et al., 2014).

Estas condições relatadas anteriormente, promovem excesso de proteína degradável no rúmen (PDR), o que contraria a tradicional deficiência proteica em sistemas de pastejo extensivos. O excesso de amônia oriundo da degradação da PDR é absorvido e, posteriormente reciclado ou excretado via urina, aumentando as perdas de nitrogênio (LAPIERRE & LOBLEY, 2001).

A ausência de sincronismo entre a liberação de nitrogênio e a disponibilidade de energia em nível de rúmen, compromete a síntese de proteína microbiana, reduzindo o aporte de proteína metabolizável (PM) e a eficiência de uso do nitrogênio, além de elevar a excreção de N e o risco de emissão de óxido nitroso (LOY et al., 2007). Para contornar essa limitação, a inclusão de fontes de energia de rápida fermentação ou de proteína de baixa degradação ruminal (PNDR) constitui uma estratégia viável para ser aplicada em sistemas que possuem este desafio (ARAÚJO et al., 2021, CAMARGO et al., 2020, SILVA et al., 2021).

Tradicionalmente, farelos de soja, algodão e amendoim são utilizados como principais fontes proteicas, embora apresentem custos elevados. Nesse sentido, o uso de coprodutos como o DDGS mostra-se alternativa economicamente atrativa, com potencial de redução de custos e perfil de

aminoácidos mais adequado às exigências dos ruminantes (ARROQUY et al., 2014; ROMANZINI et al., 2020). Além dos benefícios nutricionais e econômicos, a suplementação com concentrados, incluindo o DDGS, também contribui para a mitigação do metano entérico ao melhorar a eficiência fermentativa e reduzir a produção relativa de CH_4 por unidade de alimento digerido (BLAXTER, 1965).

Resultados de Hoffmann et al. (2021) demonstraram que a substituição de 50% ou 100% do farelo de algodão (fonte proteica tradicional) por DDG pode promover uma redução nas emissões de metano (CH_4) por quilograma de ganho de peso diário. Assim, a utilização de ingredientes alternativos e de menor custo, como o DDGS, tem se destacado em sistemas tropicais de recria e terminação, combinando ganhos de desempenho animal, viabilidade econômica e sustentabilidade ambiental (BERÇA et al., 2021; BENEZ et al., 2024).

2.3 Teores de suplementação animal na época das águas

A suplementação concentrada para animais em pastejo é uma estratégia de produção, que por meio do atendimento da demanda dos nutrientes, possibilita eficiência de utilização do pasto e incrementos no desempenho animal (CABRAL et al., 2011). Nas águas, os suplementos podem ser utilizados para otimizar o uso das forragens, aumentar a taxa de lotação, elevar o ganho de peso dos animais e reduzir o ciclo produtivo (BARBERO et al., 2015).

A escolha do teor e do tipo de suplemento está diretamente associada às condições da pastagem e ao desempenho esperado. Suplementos proteicos são recomendados quando há aumento da massa forrageira e do conteúdo de fibra, acompanhado de redução no teor proteico da forragem, corrigindo limitações de nitrogênio degradável no rúmen. Em situações opostas, caracterizadas por menor massa de forragem e maior teor proteico, suplementos energéticos tornam-se mais adequados, uma vez que fornecem carboidratos não fibrosos que favorecem a sincronia entre energia fermentescível e nitrogênio solúvel, promovendo maior eficiência fermentativa (REIS et al., 2009). Suplementos proteico-energéticos, por sua vez, promovem a inclusão de compostos nitrogenados no rúmen e maior eficiência de utilização da forragem (SILVA et al., 2019).

A eficiência da suplementação está diretamente ligada ao manejo adequado da pastagem. A adição de concentrado na dieta de animais em pastejo maximiza a utilização dos recursos forrageiros devido aos efeitos interativos entre consumo de suplemento e consumo de forragem, refletindo-se em melhor aproveitamento dos nutrientes disponíveis (DETMANN et al., 2014). Nesse contexto, a quantidade de suplemento fornecida torna-se variável determinante da resposta animal e do equilíbrio entre consumo de suplemento e ingestão de forragem.

A quantidade de suplemento fornecida de forma ajustada, além de potencializar o aproveitamento dos nutrientes consumidos, também influencia na produtividade do sistema. Barbero et al. (2020) avaliaram a redução dos níveis de suplementação à medida que a altura do capim *Urochloa brizantha* cv. Marandu aumentou: 1) pasto baixo (15 cm) e alta suplementação (0,6% do P.C de fornecimento: 142 g/kg PB e 18,9 MJ/kg energia bruta); 2) pasto moderado (25 cm) e moderada suplementação (0,3% do PC: 161 g/kg PB e 20,1 MJ/kg energia bruta) ou 3) pasto alto (35 cm) sem suplementação (somente mistura mineral). Os autores observaram que a quantidade de suplemento fornecido pode afetar o consumo de matéria seca da forragem, onde o fornecimento de maior quantidade de suplemento proporcionou redução no consumo de forragem e maior taxa de lotação sem impactar o ganho de peso, resultando em maior produtividade por área. Barros et al. (2015), trabalhando com suplementos diversos com diferentes teores de proteína bruta, encontraram redução no consumo de matéria seca de forragem quando se aumentou o nível de PB no suplemento, indicando efeito substitutivo, que resultou na variação nas taxas de digestão, afetando o consumo. Entretanto, Miorin et al. (2016) sugerem que a regulação do consumo pode ocorrer por mecanismos fisiológicos, nos quais os animais interrompem o consumo ao atingirem as exigências de manutenção e produção, independentemente da saciedade física. Isso destaca a importância de ajustar a suplementação de acordo com a resposta desejada e o potencial produtivo do rebanho.

Além disso, a interação entre qualidade da forragem e a quantidade de fornecimento do suplemento influencia diretamente o desempenho animal.

Koscheck et al. (2020), avaliando combinações entre alturas de pasto (15, 25 e 35 cm) e diferentes quantidades de suplemento (0,1; 0,3; e 0,6% do peso corporal), observaram incrementos no ganho médio diário à medida que a quantidade de suplemento fornecido aumentava. Esses resultados reforçam que o efeito da suplementação é condicionado pela disponibilidade e qualidade da forragem. Os achados desses autores demonstram a importância de compreender como diferentes níveis de suplementação podem alterar o consumo de pasto e o desempenho animal.

Em sistemas de pastejo, a maximização do consumo de forragem é fundamental, uma vez que o pasto constitui a principal fonte de nutrientes e representa o componente de menor custo da dieta. Nessa condição, a suplementação deve exercer função complementar, evitando substituir a ingestão de forragem. Em estudo conduzido por Coutinho (2021), verificou-se efeito substitutivo do suplemento proteico de maior fornecimento sobre o consumo de pasto. Os fornecimentos adotados correspondiam a 0,25% e 0,5% do peso corporal para os níveis de baixo e alto consumo, respectivamente. Animais recebendo o nível elevado de suplementação ingeriram, em média, 603 g/dia a menos de matéria seca de forragem em comparação àqueles suplementados em menor nível. Esse comportamento reforça que o nível de suplementação deve ser cuidadosamente ajustado, de forma a atender as exigências nutricionais sem comprometer a ingestão de forragem.

Assim, a adoção de diferentes teores de suplementação durante a estação chuvosa não se restringe à correção de eventuais deficiências nutricionais da pastagem. Trata-se de uma estratégia planejada para modular a fermentação ruminal, otimizar o desenvolvimento e performance da microbiota, ajustar a relação entre consumo, digestibilidade e desempenho, e, conseqüentemente, aumentar a eficiência dos sistemas tropicais (DE CARVALHO RIBEIRO & BARBERO, 2022).

2.4 DDGS

A produção de etanol a partir de cereais, especialmente do milho, tem apresentado crescimento progressivo em determinadas regiões do Brasil ao

longo dos últimos anos. Os coprodutos oriundos da indústria do etanol de milho são, de modo geral, classificados em três categorias: WDG (grão úmido de destilaria), DDG (grão seco de destilaria sem solúveis) e DDGS (grão seco de destilaria com solúveis). As diferenças entre DDG e DDGS estão relacionadas principalmente aos teores de extrato etéreo e fibra, uma vez que o DDGS contém os solúveis oriundos do processo fermentativo. O DDG apresenta maior concentração de proteína bruta e fibra, enquanto o DDGS se destaca pelo maior teor energético e pela melhor palatabilidade, características atribuídas à adição dos solúveis, ou seja, extrato etéreo. Dentre esses coprodutos, o DDGS é o mais utilizado na nutrição animal em função do seu perfil nutricional equilibrado, que combina proteína, energia e fibra (KLEINSCHMIT et al., 2007).

O DDGS possui composição nutricional que favorece sua inclusão nas dietas de diversas espécies animais, tanto monogástricas quanto ruminantes (USGC, 2012). No processo de obtenção de etanol a partir do milho, após as etapas de moagem seca, hidrólise do amido, fermentação e destilação, obtém-se o DDGS, o qual é resultante do aproveitamento de resíduos que, em condições tradicionais, seriam descartados (ALVES et al., 2012; USGC, 2012). De acordo com Wyman (1996), uma tonelada de grão seco processado resulta, em média, 460 litros de etanol anidro e 380 kg de DDGS.

Um dos principais desafios associados ao uso de DDGS na alimentação animal refere-se à variabilidade em sua composição química, o que dificulta a determinação precisa dos teores de nutrientes e dos níveis adequados de inclusão nas dietas (TJARDES & WRIGHT, 2002). Essa variação é influenciada por fatores como a qualidade do milho utilizado, condições edafoclimáticas, práticas de manejo agrícola, além de diferenças tecnológicas entre usinas produtoras. Ressalta-se que a inclusão de solúveis pode elevar o teor de enxofre no DDGS, o que exige monitoramento, visto que concentrações excessivas podem ocasionar distúrbios metabólicos em ruminantes, como a polioencefalomalácia (NRC, 2016).

Com a expansão da cadeia de etanol de milho, o Brasil projeta alcançar cerca de 4 milhões de toneladas de DDGS em 2024/2025, consolidando-se como

um importante fornecedor global deste coproduto da nutrição animal (DAMÁZIO & CABALLEROS, 2025). Nesse contexto, o crescente volume de DDGS disponível no mercado nacional reforça seu papel estratégico como alternativa aos ingredientes convencionais, especialmente em sistemas que buscam reduzir custos, diversificar fontes de nutrientes e aumentar a eficiência produtiva em ambientes tropicais.

O DDGS destaca-se por apresentar elevado teor de proteína não degradável no rúmen (PNDR) e fibra em detergente neutro (FDN) com elevada degradabilidade, características que conferem ao ingrediente potencial para utilização em dietas de ruminantes como alternativa nutricional viável (CHELKAPALLY et al., 2023). Além disso, seu reduzido teor de amido e o elevado teor de glúten resultantes do processo fermentativo contribuem para aumentar o aporte de proteína metabolizável, especialmente importante para animais jovens em crescimento.

Estudos conduzidos na UNESP/FCAV, Jaboticabal, demonstraram resultados consistentes quanto ao uso do DDGS em substituição a fontes proteicas convencionais, como os farelos de algodão e de soja (SOUZA et al., 2020; HOFFMANN et al., 2020, 2021; ARAÚJO et al., 2021; FERRARI et al., 2021). Segundo Thomas et al. (2017), o teor proteico do DDGS é semelhante ao do farelo de algodão (aproximadamente 36%), ambos com elevado teor de PNDR, configurando-se como ingredientes estratégicos para dietas de bovinos de corte.

Além de seu potencial nutricional, o DDGS também demonstra efeitos positivos sobre a intensidade das emissões entéricas quando comparado ao fornecimento exclusivo de suplemento mineral. No estudo de Hoffmann (2021), os animais que receberam DDGS apresentaram menores emissões de metano por quilograma de ganho de peso ($\text{CH}_4/\text{kg GMD}$), com valores de 0,17 kg e 0,18 kg, em contraste com 0,22 kg de CH_4/kg de ganho observados no grupo conduzido apenas com mistura mineral. Esses resultados evidenciam que a inclusão de DDGS na suplementação reduz a intensidade de emissão de metano, tornando a produção mais eficiente ambientalmente em relação ao uso

exclusivo de suplementação mineral. Resultados semelhantes foram observados por McGinn et al. (2009), que reportaram redução de até 16,4% nas emissões entéricas ajustadas pela ingestão de matéria seca quando 35% da cevada foi substituída por DDGS na dieta.

Em estudo complementar, Hünerberg et al. (2013) observaram reduções na emissão de metano entérico em novilhas alimentadas com dietas contendo 40% de DDGS de milho ou trigo suplementado com lipídios, com diminuição de 5,0% para valores entre 4,0 e 4,2% da energia bruta consumida. No entanto, os autores também destacaram aumento na excreção de nitrogênio urinário e fecal, indicando a necessidade de avaliação integrada dos impactos ambientais.

De acordo com Picanço et al. (2024), a inclusão de DDGS na alimentação de bovinos pode melhorar a eficiência alimentar e aumentar a viabilidade econômica dos sistemas produtivos.

2.5 Metano entérico

As emissões de metano brasileiras aumentaram 6% entre 2020 e 2023, ano em que o Brasil atingiu o segundo maior nível de CH_4 lançado na atmosfera, 21,1 milhões de toneladas. A maior parcela do metano emitido no país vem da bovinocultura, através da fermentação entérica, com aproximadamente 14,5 milhões de toneladas (BARREIRA, 2025).

Nesse contexto, o metano entérico (CH_4) constitui cerca de 70% das emissões geradas pelos ruminantes, resultando em impacto significativo sobre o aquecimento global devido ao seu elevado potencial de aquecimento global (PAG), 28 a 34 vezes superior ao dióxido de carbono (CO_2) (MYHRE et al., 2013). O metano produzido não apenas contribui para as emissões de GEE, mas também representa perda energética para o animal, variando entre 2% e 12% da energia bruta ingerida, o que compromete a eficiência alimentar (JOHNSON et al., 1995).

No rúmen, a formação de CH_4 está intimamente relacionada à dinâmica da microbiota associada ao processo de fermentação. Microrganismos fibrolíticos decompõem carboidratos fibrosos, como celulose e hemicelulose,

enquanto microrganismos amilolíticos degradam carboidratos não fibrosos. Esse processo gera ácidos graxos voláteis (AGV), principalmente acetato, propionato e butirato, além de subprodutos como dióxido de carbono (CO_2) e hidrogênio (H_2), que servem de substratos para arqueias metanogênicas (MORGAVI et al., 2010; JANSEN et al., 2022). A produção de metano ocorre predominantemente via metanogênese hidrogenotrófica, na qual arqueias convertem CO_2 e H_2 em CH_4 (BEAUCHEMIN et al., 2020). Outras vias menos representativas incluem a metanogênese acetoclástica e metilotrófica.

A metanogênese é fundamental para a estabilidade do ambiente ruminal, uma vez que o acúmulo de hidrogênio pode inibir a atividade microbiana e reduzir a produção de energia disponível para o animal (UNGERFELD et al., 2015), associada a redução do pH ruminal. Entretanto, embora fisiologicamente necessária, a formação de metano é considerada uma rota de descarte energético ineficiente. Dietas com alta relação volumoso:concentrado tendem a favorecer a produção de acetato e H_2 , aumentando a metanogênese (HOOK et al., 2010), enquanto dietas ricas em amido estimulam maior produção de propionato, que atua como sumidouro alternativo de hidrogênio, reduzindo a emissão de CH_4 (ELLIS et al., 2008).

A quantidade de metano produzido é influenciada por fatores como composição da dieta, nível de consumo de matéria seca, manejo alimentar e estágio fisiológico do animal (HRISTOV et al., 2013). Bovinos em crescimento ou lactação, com maior ingestão de nutrientes e maior taxa de passagem ruminal, tendem a apresentar menores intensidades de emissões de CH_4 por unidade de produto, refletindo melhor eficiência biológica do sistema (GERBER et al., 2013).

Recentemente, modelos matemáticos como o IPCC (2019), “CNCPS - Cornell Net Carbohydrate And Protein System” de Fox et al., (2004), têm sido empregados para estimar emissões de metano entérico de forma mais precisa, considerando características específicas de rebanho, dieta e ambiente. Tais ferramentas são essenciais para o desenvolvimento de estratégias nutricionais e mitigatórias.

Diversas abordagens nutricionais têm sido estudadas com o objetivo de reduzir emissões entéricas. A elevação da proporção de carboidratos não fibrosos (CNF) na dieta tem recebido destaque por alterar o padrão fermentativo no rúmen, direcionando a produção de ácidos graxos de cadeia curta para maior formação de propionato. Essa via desempenha papel relevante na mitigação do metano, pois o propionato atua como sumidouro de hidrogênio no ambiente ruminal, reduzindo a disponibilidade desse elemento para as arqueias metanogênicas. Assim, dietas com maior aporte de CNF, quando adequadamente balanceadas, favorecem um ambiente ruminal mais eficiente, aumentam a captação de hidrogênio pelos microrganismos e contribuem para menores emissões entéricas, sem comprometer o desempenho animal (BUENO & ISSAKOWICZ, 2024).

Em sistemas tropicais, estratégias sustentáveis baseadas no uso de coprodutos agroindustriais e melhoramento da eficiência produtiva por meio do manejo nutricional têm sido importantes para mitigar emissões de metano (ARNDT et al., 2022). A intensificação sustentável, com suplementação estratégica e uso de pastagens de alta qualidade, permite diluir as emissões de metano por unidade de produto, aproximando-se das metas globais de neutralidade climática definidas para sistemas agropecuários (FAO, 2021).

Nesse cenário, a compreensão das relações entre fermentação ruminal, produção de CH_4 e desempenho animal é fundamental para avaliar a intensidade das emissões. Tais avaliações permitem interpretar o efeito de diferentes estratégias nutricionais não apenas sobre a quantidade absoluta de metano emitida, mas também sobre a eficiência produtiva do sistema, buscando o equilíbrio entre eficiência produtiva, bem-estar animal e sustentabilidade ambiental.

Diante do exposto, formula-se a hipótese de que o fornecimento de DDGS em diferentes quantidades (0,25% do P.C, 0,5% do P.C e 0,75% do P.C) pode potencializar o desempenho animal e mitigar a emissão de metano entérico na recria de tourinhos Nelore em pastagens de capim Xaraés durante o período das águas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do local de condução das pesquisas e período experimental

Os procedimentos experimentais estão de acordo com os Princípios Éticos na Experimentação Animal, adotado pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA) e foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Protocolo nº 4208/2020.

O experimento foi conduzido no setor de Forragicultura da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), campus de Jaboticabal, São Paulo, localizada a 21°15'22” Sul, 48°18'58” Oeste, à 595 metros de altitude, onde o clima observado na região é subtropical do tipo CWA de acordo com a classificação de Köppen. O solo do local é um latossolo vermelho-escuro eutrófico (EMBRAPA, 2013).

As avaliações foram realizadas durante a fase de recria dos animais durante o período de águas de Dezembro de 2024 a Maio de 2025. Os animais foram mantidos sob lotação contínua, com ajuste da taxa de lotação em função da oferta de forragem em uma área de 21 ha, dividida em 12 piquetes formados por *Urochloa brizantha* cv. Xaraes, com altura de manejo de 30 centímetros durante o período chuvoso. O controle de lotação e altura do dossel foi realizado através da técnica “put-and-take” utilizando animais *testers* (animais submetidos às avaliações) e reguladores. Foram utilizados 48 tourinhos Nelore *testers* com peso corporal inicial de 355 ± 30 kg. Foram distribuídos 4 animais *testers* por cada piquete experimental (12 por tratamento, 4 por repetições). Para a condução do experimento os animais foram distribuídos aleatoriamente em quatro tratamentos: 1 – Suplemento mineral (*ad libitum*); 2 – Suplemento proteico-energético (0,25% do peso corporal); 3 – Suplemento proteico-energético (0,5% do P.C) e 4 – Suplemento proteico-energético (0,75% do P.C). Os suplementos foram formulados com DDGS – INPASA (Tabela 1) + Núcleo mineral – Probeef MaDDGic Cargill-Nutron (Tabela 2).

Tabela 1. Composição do DDGS – INPASA utilizado durante o experimento.

Composição química	% MS
Matéria seca	90,3
Proteína bruta	35,9
Extrato etéreo	8,0
Cinzas	5,4
FDA	9,5
FDN	33,6
Enxofre	0,54

FDA = fibra insolúvel em detergente ácido; FDN = fibra insolúvel em detergente neutro. Laudo emitido pelo LABTRON, 30/03/2023. DDGS fornecido pela empresa INPASA.

Tabela 2. Composição dos suplementos fornecidos aos tourinhos Nelore durante a recria.

Ingrediente	0,25%	0,50%	0,75%
DDGS	91,6	95,0	96,4
Probeff MaDDGic®	8,4	5,0	3,6
Composição química (%MS)			
Matéria seca	90,8	90,9	90,8
Proteína bruta	36,2	36,2	36,5
Extrato etéreo	7,0	7,3	7,8
FDA	10,8	10,8	10,7
FDN	31,1	32,0	32,7
Enxofre	0,45	0,45	0,48

DDGS = *Dried Distillers' Grains with Solubles*; FDA = fibra insolúvel em detergente ácido; FDN = fibra insolúvel em detergente neutro.

3.2 Avaliação da massa e composição química da forragem

As avaliações do pasto, massa de forragem e componentes morfológicos (Tabela 3), foram realizadas a cada 28 dias. A medição de altura do dossel foi realizada semanalmente por meio da mensuração de 80 pontos por piquete, distribuídos aleatoriamente de forma a representar a variabilidade da altura do pasto. A partir dessas medidas, foi calculada a altura média do dossel, a qual serviu de critério para a seleção de quatro pontos representativos, onde foram coletadas as amostras de forragem (HODGSON, 1990). A forragem foi cortada rente ao solo em área delimitada por moldura circular de 0,25 m². As amostras foram pesadas, e posteriormente, obtidas duas sub-amostras. Uma sub-amostra

foi utilizada para a determinação da composição morfológica, separadas manualmente em material senescente (lâmina foliar seca e colmo seco + bainha), lâmina foliar verde e colmo verde + bainha. A segunda sub-amostra foi utilizada para obtenção da estimativa da disponibilidade de matéria seca total (MST, kg MS ha⁻¹) de forragem de cada piquete. As amostras foram secas em estufa com circulação de ar a 55°C por 72 horas.

Tabela 3. Médias referentes à produção de massa e à composição morfológica de *Urochloa brizantha* cv. Xaraés sob diferentes níveis de suplementação durante o período de águas.

Variáveis	Tratamentos			
	Controle	0,25%	0,5%	0,75%
Altura (h) cm.linear	30,5	31,0	31,8	32,8
MF, t/MS ha	7,69	8,16	8,29	8,10
Folha verde, % MS	28,40	27,10	29,22	27,38
Colmo, % MS	23,11	25,22	26,65	27,24
Material morto, % MS	48,49	47,68	44,12	45,26

CON: tratamento sal mineral; 0,25%: tratamento animais recebendo suplementação proteico energética a 0,25% do PC; 0,50%: tratamento animais recebendo suplementação proteico energética a 0,50% do PC; 0,75%: tratamento animais recebendo suplementação proteico energética a 0,75% do PC. MF = Massa de forragem.

A avaliação da composição química-bromatológica da forragem (Tabela 4) foi realizada em amostras coletadas por simulação manual do pastejo (SOLLENBERGER & CHERNEY, 1995), a cada 28 dias.

As amostras coletadas foram identificadas e levadas ao laboratório. Após pesadas, foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 55°C por 72 horas e pesadas novamente para determinação do conteúdo de matéria seca. Em seguida, foram processadas em moinho do tipo Willey, com peneira de malha de 1mm. Após moídas, as amostras foram quantificadas quanto aos teores de matéria seca (MS), matéria mineral (MN), matéria orgânica (MO), extrato etéreo (EE), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) , utilizando o aparelho NIRS (*Near-infrared spectroscopy*), previamente calibrado (MOORE et al. 1994). As leituras foram realizadas

utilizando-se os comprimentos de onda de 400 a 2500 nanômetros (nm) em um aparelho NR6500 da NIRSystems.

Tabela 4. Composição química-bromatológica de *Urochloa brizantha* cv. Xaraés avaliado na estação das águas no período de dezembro de 2024 a maio de 2025.

Período	MM	MO	PB	FDN	FDA	EE
Águas	8,45	91,55	13,55	62,26	29,80	2,00

Matéria Mineral (MM), Matéria Orgânica (MO), Proteína Bruta (PB), Fibra em Detergente Neutro (FDN), Fibra em Detergente Ácido (FDA), Extrato Etéreo (EE).

3.3 Consumo de matéria seca

O consumo de matéria seca foi avaliado durante a recria utilizando-se 48 bovinos Nelore *testers* (12 por tratamento, 4 por repetições). As análises foram conduzidas após as avaliações de metano entérico.

Para estimativa da produção fecal foi utilizado como marcador externo o óxido crômico (Cr_2O_3), fornecido na dose de 10 gramas/animal durante 10 dias, sendo sete dias de adaptação e os três dias finais de coleta de fezes. O óxido crômico foi acondicionado em cartuchos de papel e fornecido via sonda esofágica, às 11 horas da manhã. As coletas de fezes foram realizadas duas vezes por dia.

Posteriormente, as amostras foram secas a 55°C por 72 horas, processadas e realizada uma amostra composta dos 3 dias de coleta por animal, por período e armazenadas para posterior análise química. O consumo de matéria seca da forragem foi calculado a partir das estimativas de excreção fecal e da FDNi como marcador interno. O consumo de suplemento pelos animais foi estimado a partir da utilização de dióxido de titânio (TiO_2) como marcador externo, fornecido na dose de 10 gramas/animal durante 10 dias misturado ao meio do tratamento fornecido, permitindo calcular a ingestão individual de suplemento com base na relação entre a quantidade fornecida de dióxido de titânio e sua recuperação fecal (FILHO et al., 2006). Os teores de FDNi das amostras de pastejo simulado e das fezes foram determinados pela técnica de incubação *in situ* por 288 horas, conforme descrito por Valente et al. (2011). Para

a incubação, todas as amostras foram previamente moídas em peneira de 2 mm, seguindo a padronização metodológica para determinação da fração indigestível da fibra (FDNi).

3.4 Emissões de metano entérico

A produção de metano foi avaliada pela técnica do gás traçador SF₆, conforme descrito por Johnson et al. (1994), na qual um tubo de permeação contendo SF₆, com taxa de liberação previamente conhecida, é inserido no rumen do animal. A coleta dos gases expirados foi realizada de acordo com o protocolo adaptado por Primavesi et al. (2004). Para isso, cada animal foi equipado com um cabresto de couro acoplado a um tubo capilar conectado a um cilindro de aço inoxidável (acoplado em uma sela leve) previamente evacuado, responsável pela captura do ar expirado. Os animais passaram por um período de adaptação de cinco dias ao equipamento, inicialmente apenas com a sela leve (sem cilindro) e cabresto de couro (sem tubo capilar), antes do início das coletas.

Após cada período de amostragem, os cilindros foram pressurizados com nitrogênio, e as concentrações de CH₄ e SF₆ foram determinadas por cromatografia gasosa. As coletas foram realizadas durante cinco dias consecutivos, com a substituição diária dos cilindros de coleta. Dois cilindros adicionais, mantidos abertos ao ambiente durante o mesmo período de amostragem, foram utilizados para a quantificação da composição do ar ambiente, permitindo corrigir possíveis contaminações ou variações na composição do ar atmosférico.

A taxa de emissão de CH₄ pelos tourinhos foi calculada a partir da equação:

$$CH_4 = CSF_6 \times ([CH_4]c - [CH_4]Amb) / [SF_6]c$$

Onde: CH₄ = taxa diária de emissão por animal, CSF₆ = emissão conhecida de SF₆ pela cápsula ruminal, [CH₄]c = concentração de CH₄ coletada na canga, [CH₄]Amb = concentração de CH₄ no ambiente, e [SF₆]c = concentração de SF₆ na canga.

3.5 Desempenho animal

Para avaliação de desempenho animal, os animais foram pesados no início e final do período experimental, após prévio jejum alimentar e hídrico de 16 horas. O ganho médio diário foi calculado pela diferença entre o peso final e inicial, dividido pelo número de dias. O ganho de peso total foi calculado pela diferença entre o peso médio de entrada e do peso médio de saída dos animais nos diferentes tratamentos do experimento.

3.6 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram conduzidas no software R (versão 4.5.1), adotando-se um delineamento inteiramente casualizado (DIC), composto por quatro tratamentos e três repetições por tratamento, totalizando 12 piquetes experimentais, sendo cada piquete considerado uma unidade experimental. Os dados de desempenho, emissão de metano (g/dia) e de intensidade de emissão de metano (g CH₄/kg de GMD e g CH₄/kg de CMS) foram submetidos à análise de variância (ANOVA), adotando-se nível de significância de 5% e reportando-se exclusivamente os valores de P referentes ao efeito de tratamento. A normalidade dos resíduos foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk e inspeção de gráficos QQ-plot, enquanto a homogeneidade de variâncias entre tratamentos foi verificada pelo teste de Levene. A presença de outliers foi inspecionada por boxplots e pelo critério interquartil ($1,5 \times \text{IQR}$). Quando o efeito de tratamento foi significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o pacote *emmeans*. As médias dos tratamentos foram apresentadas acompanhadas do erro-padrão da média (EPM), calculado a partir do quadrado médio do resíduo da ANOVA dividido pelo número de observações por tratamento, de forma a expressar a precisão experimental.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam o papel estratégico da suplementação com DDGS em sistemas de recria de bovinos Nelore a pasto durante o período das águas. Apesar da alta qualidade nutricional do capim-Xaraés durante o período das águas (Tabela 4), os níveis crescentes de

suplementação com DDGS influenciaram de forma distinta os componentes do consumo e de desempenho dos animais (Tabela 5).

Tabela 5. Efeitos da suplementação com diferentes doses de DDGS sob o desempenho animal na fase de recria de tourinhos Nelore mantidos em pasto de *Urochloa brizantha* cv. Xaraés no período das águas.

Variáveis	Tratamentos				EPM	p-valor
	CON	0,25%	0,5%	0,75%		
Consumo (Kg MS.dia⁻¹)						
Consumo total	7,49 ^d	8,52 ^c	9,51 ^b	10,51 ^a	0,18	<0,001
Consumo de forragem	7,30	7,49	7,37	7,20	0,15	0,600
Consumo de suplemento	0,189 ^d	1,026 ^c	2,211 ^b	3,306 ^a	0,043	<0,001
Desempenho						
Peso final (kg)	434 ^c	469 ^b	516 ^a	508 ^a	5,821	<0,001
GMD (kg/dia)	0,870 ^c	0,904 ^{bc}	1,115 ^a	1,046 ^a	0,021	<0,001

CON: tratamento sal mineral; 0,25%: tratamento animais recebendo suplementação proteico energética a 0,25% do PC; 0,50%: tratamento animais recebendo suplementação proteico energética a 0,50% do PC; 0,75%: tratamento animais recebendo suplementação proteico energética a 0,75% do PC. EPM = Erro padrão da média. GMD = Ganho médio diário. Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observou-se aumento linear no consumo de suplemento, acompanhado de manutenção do consumo de forragem entre os tratamentos, indicando a ocorrência de efeito substitutivo aditivo, no qual o incremento da ingestão de matéria seca total e de suplemento não promoveu acréscimos proporcionais no consumo de pasto (FERNANDES et al., 2021). Em estudo conduzido por Silva et al. (2010) sobre o comportamento ingestivo diurno de bovinos Nelore, observou-se redução linear no tempo de pastejo com o aumento dos níveis de suplementação, de 0%, 0,3%, 0,6% e 0,9% do P.C. O tempo destinado ao pastejo diminuiu de 72,4 minutos (sem suplementação) para 42,5 minutos no nível de 0,9% do PC. Essa diminuição na atividade de pastejo resultou em menor consumo de forragem, caracterizando efeito substitutivo, especialmente evidente nas doses de 0,6 e 0,9% do PC.

Apesar desse padrão de substituição parcial, o consumo total de matéria seca aumentou com os níveis de suplementação, refletindo em maiores pesos finais e ganhos médios diários, especialmente nos tratamentos de 0,5% e 0,75% do PC. Esse resultado sugere que o aporte adicional de energia fermentescível e proteína metabolizável oriundos do DDGS contribuiu na maior deposição de tecido corporal (DE FREITAS, 2023). Miorin et al. (2016) apontam que o consumo pode ser regulado por mecanismos fisiológicos, de modo que os animais cessam a ingestão ao atender suas exigências de manutenção e produção, mesmo antes de atingir a saciedade física. Isso reforça a necessidade de ajustar a suplementação conforme o objetivo produtivo.

Dessa forma, os resultados observados demonstram que a suplementação exerceu efeito direto sobre o balanço de energia fermentescível e proteína metabolizável, sem modificar o comportamento ingestivo relacionado à forragem (DETMANN et al., 2014).

A análise dos dados da Tabela 6 evidencia que não houve alteração significativa na produção absoluta de metano entérico (g/dia), que variou de 113,7 a 137,7 g/dia ($p = 0,538$), mas houve diferenças consideráveis nas emissões de metano quando ajustadas a dados de intensidade.

Tabela 6. Efeitos da suplementação com diferentes doses de DDGS sob a emissão de metano entérico animal na fase de recria de tourinhos Nelore mantidos em pasto de Urochloa brizantha cv. Xaraés no período das águas.

Variáveis	Tratamentos				EPM	p-valor
	CON	0,25%	0,5%	0,75%		
CH ₄ (g/dia)	122,4	116,0	113,7	137,7	11,72	0,538
CH ₄ (g/Kg de GMD)	143,6 ^a	138,1 ^a	107,4 ^b	128,5 ^a	6,23	0,033
CH ₄ (g/Kg de CMS)	16,69	13,86	12,10	13,34	1,48	0,294

CON: tratamento sal mineral; 0,25%: tratamento animais recebendo suplementação proteico energética a 0,25% do PC; 0,50%: tratamento animais recebendo suplementação proteico energética a 0,50% do PC; 0,75%: tratamento animais recebendo suplementação proteico energética a 0,75% do PC. EPM = Erro padrão da média. GMD = Ganho médio diário. CMS = Consumo de matéria seca. Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Esses resultados indicam que a inclusão do suplemento não reduziu a quantidade total de metano formado no rúmen, sugerindo que a atividade das arqueias metanogênicas e os mecanismos fermentativos globais se mantiveram relativamente estáveis. Esse comportamento é consistente com o papel central do ciclo do hidrogênio no rúmen, no qual o metano atua como principal via de remoção desse gás, garantindo o funcionamento das rotas fermentativas (UNGERFELD, 2015; SHIMA & THAUER, 2005). Cerca de 70 a 80% da produção de metano entérico nos ruminantes é resultado da metanogênese hidrogenotrófica, sendo a oferta de substratos fibrosos o principal determinante desse processo (HOOK et al., 2010; MORGAVI et al., 2010). Assim, mesmo com a inclusão de DDGS, o consumo de forragem manteve a oferta de carboidratos estruturais, sustentando a produção absoluta de metano, como foi mostrado na Tabela 5.

Por outro lado, quando os dados foram ajustados ao desempenho animal, emergiram diferenças importantes na intensidade de emissão de CH_4 em g/kg de ganho médio diário ($p = 0,033$). Os animais suplementados com 0,5% do P.C apresentaram o menor valor (107,4 g/kg GMD), diferindo estatisticamente dos demais, enquanto o controle (143,6 g/kg GMD) e os animais suplementados com 0,25% e 0,75% do P.C (138,1 e 128,5 g/kg GMD) apresentaram maiores intensidades de emissão, respectivamente. Esses resultados demonstram que, embora a produção absoluta permaneça constante, a eficiência ambiental por unidade de ganho pode ser significativamente melhorada por meio da suplementação balanceada (DE SOUZA PACHECO et al., 2025).

A superioridade dos animais que receberam a dose de 0,5% do PC na redução da emissão de gramas de CH_4 expressa em kg de GMD pode ser explicada pelas características nutricionais do DDGS. Esse coproduto apresenta elevado teor de proteína não degradável no rúmen (PNDR), lipídeos e fibra altamente digestível, o que contribui para um melhor sincronismo entre oferta de nitrogênio e energia fermentescível no rúmen (KLEINSCHMIT et al., 2007). Esse sincronismo é essencial para a máxima síntese de proteína microbiana e melhor aproveitamento da proteína metabolizável, reduzindo as perdas energéticas

associadas à produção de metano (POPPI & MCLENNAN, 1995; DETMANN et al., 2014; SOLLENBERGER et al., 2020). Assim, a melhor eficiência observada no nível de 0,5% está diretamente relacionada ao maior equilíbrio nutricional ofertado por essa quantidade fornecida.

Além disso, os lipídeos presentes no DDGS podem exercer efeito sobre as populações metanogênicas, reduzindo a disponibilidade de hidrogênio para a metanogênese ruminal (MCGINN et al., 2009; HUNERBERG et al., 2013). Em uma metanálise, Patra (2013) analisou 29 trabalhos publicados, dividindo-os em dois grupos para avaliar os efeitos da suplementação de lipídios em baixas ou altas concentrações (menor que 5% ou maior que 5% de EE na MS da dieta) na emissão de CH_4 . O autor não encontrou diminuição na produção de metano analisada em g/dia ou g/kg de CMS com suplementação inferior a 5% de EE na dieta; entretanto, houve diminuição da produção de CH_4 nos trabalhos que utilizaram níveis acima de 5% de EE, independentemente da fonte utilizada. De acordo com essas informações, com a composição dos suplementos utilizados neste presente estudo (Tabela 4) fornecendo 7% (0,25% PC), 7,3% (0,5% PC) e 7,8% (0,75% PC) de EE aos animais, os lipídeos exerceram efeito sobre a microbiota metanogênica, reduzindo assim a emissão de CH_4 , principalmente nos dados de intensidade (g/kg GMD) do fornecimento de 0,5% P.C.

No entanto, quando a dose foi elevada para 0,75% do P.C, observou-se um platô na resposta, o que pode estar relacionado ao efeito substitutivo da forragem pelo suplemento ou à limitação fisiológica de consumo e de aproveitamento dos nutrientes adicionais, conforme relatado por Murillo et al., 2015. Esse comportamento sugere que o ponto ótimo de suplementação, sob as condições deste estudo, se situou em torno de 0,5% do PC.

Através de resultados relatados na literatura, Hoffmann et al. (2021) verificaram redução de 32% na intensidade de emissão de metano (g CH_4 /kg GMD) em animais suplementados com DDGS a 0,3% do PV, comparados ao controle com sal mineral. Da mesma forma, Ferrari et al. (2022) também observaram redução na intensidade de emissão de metano por kg de matéria seca consumida em animais suplementados com DDGS, além de menor

excreção urinária de nitrogênio. Araújo et al. (2021) relataram que a substituição parcial ou total do farelo de algodão por DDG em bovinos Nelore não afetou a emissão absoluta de metano (média de 136,6 g/dia), mas promoveu incremento de 18,9% no GMD, resultando também em menor intensidade de emissão. Esses achados corroboram os resultados aqui apresentados.

Como relatado por Congio et al. (2021) e Dallantonia et al. (2021), sistemas de recria intensificados em pastagens tropicais, com suplementação estratégica, permitem ganhos individuais mais altos e redução significativa da intensidade de emissões. Esse efeito é particularmente importante no contexto brasileiro, onde cerca de 73% das emissões da pecuária são atribuídas ao metano entérico (SMITH et al., 2022).

Estratégias nutricionais que reduzam a intensidade das emissões, contribuem diretamente para o cumprimento das metas da agenda climática e para o alinhamento do setor pecuário às exigências internacionais de sustentabilidade. Além disso, o uso de coprodutos como o DDGS, não destinados ao consumo humano, se enquadra nas diretrizes da FAO sobre eficiência no uso de recursos e redução da competição entre cadeias alimentares (MOTTET et al., 2018; FERNANDES et al., 2022).

5. CONCLUSÃO

Conclui-se que, embora a suplementação com DDGS nos níveis de 0,25%, 0,5% e 0,75% do peso corporal não reduza a produção absoluta de metano, o fornecimento a partir de 0,5% do PV melhora a eficiência produtiva dos animais e reduz a intensidade de emissão de metano por quilo de ganho, atendendo simultaneamente às metas de desempenho e sustentabilidade. Esses resultados evidenciam que estratégias nutricionais baseadas em coprodutos não destinados ao consumo humano, como o DDGS, representam alternativas viáveis para a intensificação sustentável da pecuária tropical, ao conciliar ganhos zootécnicos com a mitigação de gases de efeito estufa.

6. RESUMO

A bovinocultura de corte brasileira apresenta crescimento e intensificação contínuos, sendo muitas vezes apontada, de forma equivocada, como uma das principais fontes de poluição ambiental. O controle das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e o desenvolvimento de estratégias sustentáveis de produção são fundamentais, uma vez que o aumento da concentração desses gases intensifica o aquecimento global. O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos da suplementação com DDGS em diferentes teores sobre o desempenho e a emissão de metano entérico de tourinhos Nelore recriados sob lotação contínua em pastos de *Urochloa brizantha* cv. Xaraés durante o período de águas (Dezembro de 2024 - Maio de 2025). O experimento foi conduzido no Setor de Forragicultura da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias FCAV/UNESP. Foram utilizados 48 tourinhos Nelore com peso corporal médio de 355 ± 30 kg. Os animais foram distribuídos aleatoriamente em quatro tratamentos (3 piquetes por tratamento), sendo: T1 – Suplemento mineral (*ad libitum*); T2 – Suplemento proteico-energético (0,25% do peso corporal); T3 – Suplemento proteico-energético (0,5% do P.C); T4 – Suplemento proteico-energético (0,75% do P.C). Os suplementos foram formulados com resíduos da destilaria de etanol de milho DDGS – INPASA + Probeef MaDDGic Cargill Nutron. A suplementação influenciou o desempenho, com maiores pesos finais e ganho médio diário (GMD) nos níveis de 0,5% (516 kg; 1,115 kg/dia) e 0,75% (508 kg; 1,046 kg/dia), em comparação ao controle (434 kg; 0,870 kg/dia; $p < 0,001$). A emissão absoluta de metano (g/dia) não diferiu entre tratamentos (113 a 138 g/dia; $p = 0,538$), porém a intensidade de emissão por ganho de peso ($\text{g CH}_4/\text{kg GMD}$) foi menor no T3 (107,4 g/kg GMD) em relação ao controle (143,6 g/kg GMD; $p = 0,033$). A emissão ajustada ao consumo ($\text{g CH}_4/\text{kg CMS}$) não diferiu estatisticamente. Conclui-se que a suplementação com DDGS, especialmente a 0,5% do PV, melhora o desempenho e reduz a intensidade de emissão de metano, representando uma estratégia eficiente para a intensificação sustentável da pecuária tropical.

7. SUMMARY

Brazilian beef cattle production has shown continuous growth and intensification, often being mistakenly identified as one of the main sources of environmental pollution. The control of greenhouse gas (GHG) emissions and the development of sustainable production strategies are essential, since the increase in the concentration of these gases intensifies global warming. The objective of this study was to evaluate the effects of DDGS supplementation at different inclusion levels on the performance and enteric methane emission of Nelore yearling bulls raised under continuous stocking on *Urochloa brizantha* cv. Xaraés pastures during the rainy season (December 2024 – May 2025). The experiment was conducted at the Forage Sector of the School of Agricultural and Veterinary Sciences (FCAV/UNESP). Forty-eight Nelore yearling bulls with an average body weight of 355 ± 30 kg were used. The animals were randomly assigned to four treatments (3 paddocks per treatment), as follows: T1 – mineral supplement (ad libitum); T2 – protein–energy supplement (0.25% of body weight); T3 – protein–energy supplement (0.5% of body weight); T4 – protein–energy supplement (0.75% of body weight). The supplements were formulated with by-products from the corn ethanol distillery DDGS – INPASA + Probeef MaDDGic Cargill Nutron. Supplementation influenced performance, with higher final body weights and average daily gain (ADG) at the 0.5% (516 kg; 1.115 kg/day) and 0.75% (508 kg; 1.046 kg/day) levels compared with the control (434 kg; 0.870 kg/day; $p < 0.001$). Absolute methane emission (g/day) did not differ among treatments (113 to 138 g/day; $p = 0.538$), but emission intensity per unit of weight gain ($\text{g CH}_4/\text{kg ADG}$) was lower in T3 (107.4 g/kg ADG) compared with the control (143.6 g/kg ADG; $p = 0.033$). Methane emission adjusted for intake ($\text{g CH}_4/\text{kg DMI}$) did not differ statistically. It is concluded that DDGS supplementation, especially at 0.5% of body weight, improves performance and reduces methane emission intensity, representing an efficient strategy for the sustainable intensification of tropical beef cattle production.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC. *Beef report 2025*. São Paulo, 2025. Disponível em: <https://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2025-perfil-da-pecuaria-no-brasil/>.

Acesso em: 8 nov. 2025.

AIKEN, G. E. Invited review: grazing management options in meeting objectives of grazing experiments. *The Professional Animal Scientist*, v. 32, n. 1, p. 1–9, 2016.

ALVES, J. O.; ZHUO, C.; LEVENDIS, Y. A.; TENÓRIO, J. A. S. Síntese de nanomateriais de carbono a partir do resíduo de milho (DDGS). *Química Nova*, v. 35, p. 1534–1537, 2012.

ARAÚJO, T. L. R.; SILVA, W. L.; BERÇA, A.; CARDOSO, A. S.; BARBERO, R. P.; ROMANZINI, E. P.; REIS, R. A. Effects of replacing cottonseed meal with corn dried distillers' grain on ruminal parameters, performance, and enteric methane emissions in young Nellore bulls reared in tropical pastures. *Animals*, v. 1, p. 1, 2021.

ARNDT, C.; HRISTOV, A. N.; PRICE, W. J.; MCCLELLAND, S. C.; PELAEZ, A. M.; CUEVA, S. F.; ... YU, Z. T. Strategies to mitigate enteric methane emissions by ruminants: a way to approach the 2.0° C target. *AgriRxiv*, 20210085288, 2021.

ARNDT, C.; HRISTOV, A. N.; PRICE, W. J.; MCCLELLAND, S. C.; PELAEZ, A. M.; CUEVA, S. F.; ... YU, Z. Full adoption of the most effective strategies to mitigate methane emissions by ruminants can help meet the 1.5 C target by 2030 but not 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 119, n. 20, e2111294119, 2022.

ARROQUY, J.; BERRUHET, F.; MARTINEZ FERRER, J.; PASINATO, A.; BRUNETTI, M.; PASINATO, A.; ... PORDOMINGO, A. Uso de subproductos del destilado de granos en bovinos para carne. In: *JORNADA NACIONAL DE FORRAJES CONSERVADOS*, 1., 2014, Manfredi. *Recopilación de presentaciones técnicas*. Córdoba: INTA, 2014. p. 1–43.

BARBERO, R. P.; MALHEIROS, E. B.; AGUILAR, N. M.; ROMANZINI, E. P.; FERRARI, A. C.; NAVE, R. L. G.; ... REIS, R. A. Supplementation level increasing dry matter intake of beef cattle grazing low herbage height. *Journal of Applied Animal Research*, v. 48, n. 1, p. 28–33, 2020.

BARBERO, R. P.; MALHEIROS, E. B.; ARAÚJO, T. L. R.; NAVE, R. L. G.; MULLINIKS, J. T.; BERCHIELLI, T. T.; RUGGIERI, A. C.; REIS, R. A. Combining Marandu grass grazing height and supplementation level to optimize growth and productivity of yearling bulls. *Animal Feed Science and Technology*, v. 209, p. 110–118, 2015.

BARBERO, R. P.; RIBEIRO, A. C. D. C.; MOURA, A. M.; LONGHINI, V. Z.; MATTOS, T. F. D. A.; BARBERO, M. M. D. Production potential of beef cattle in tropical pastures: a review. *Ciência Animal Brasileira*, v. 22, e69609, 2021.

BARREIRA, S. A. Emissões de metano do Brasil sobem 6% em quatro anos. São Paulo: Observatório do Clima, 27 ago. 2025. Disponível em: <https://www.oc.eco.br/emissoes-de-metano-do-brasil-sobem-6-em-quatro-anos/>. Acesso em: 12 nov. 2025.

BARROS, L. V.; PAULINO, M. F.; MORAES, E. H. B. K.; VALADARES FILHO, S. C.; MARTINS, L. S.; ALMEIDA, D. M.; ... SILVA, A. G. Níveis crescentes de proteína bruta em suplementos múltiplos para novilhas de corte sob pastejo no período das águas. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, n. 3, p. 1583–1598, 2015.

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

BEAUCHEMIN, K. A.; UNGERFELD, E. M.; ECKARD, R. J.; WANG, M. Fifty years of research on rumen methanogenesis: lessons learned and future challenges for mitigation. *Animal*, v. 14, supl. 1, p. s2–s16, 2020.

BENEZ, L. M.; BRIXNER, B. M.; ANTUNES, S. L.; LAMAS, P. S.; COELHO, L. M.; OLIVEIRA, M. O.; ... PORTELA SANTOS, F. A. PSXIII-24 Inclusion of dried distillers grains with solubles in feedlot diets containing flint corn and citrus pulp:

metabolism and performance of finishing Nellore bulls. *Journal of Animal Science*, v. 102, supl. 3, p. 791–792, 2024.

BERÇA, A. S.; ROMANZINI, E. P.; CARDOSO, A. S.; FERREIRA, L. E.; D'AUREA, A. P.; FERNANDES, L. B.; REIS, R. A. Advances in pasture management and animal nutrition to optimize beef cattle production in grazing systems. In: *Animal feed science and nutrition: production, health and environment*. IntechOpen, 2021.

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

BLAXTER, K. L.; CLAPPERTON, J. L. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *British Journal of Nutrition*, v. 19, n. 1, p. 511–522, 1965.

BUENO, M. E. C.; ISSAKOWICZ, J. Estratégias de mitigação de metano entérico em ruminantes: uma revisão. *Desenvolvimento rural sustentável: novas perspectivas*, v. 1, p. 66–86, 2024.

CABRAL, C. H. A.; OLIVEIRA BAUER, M.; CABRAL, C. E. A.; SOUZA, A. L.; BENEZ, F. M. Comportamento ingestivo diurno de novilhos suplementados no período das águas. *Revista Caatinga*, v. 24, n. 4, p. 178–185, 2011.

CAMARGO, K. D. V. Influência da suplementação com proteína não degradável no rúmen sobre o consumo, metabolismo e desempenho na recria de bovinos Nelore em pasto. 2020. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Jaboticabal-SP, 2020.

CARDOSO, A. S.; BARBERO, R. P.; ROMANZINI, E. P.; TEOBALDO, R. W.; ONGARATTO, F.; FERNANDES, M. H. M. R.; ... REIS, R. A. Intensification: a key strategy to achieve great animal and environmental beef cattle production sustainability in *Brachiaria* grasslands. *Sustainability*, v. 12, n. 16, 6656, 2020.

CARDOSO, A. S.; BERNDT, A.; LEYTEM, A.; ALVES, B. J.; CARVALHO, I. D. N.; BARROS SOARES, L. H.; ... BODDEY, R. M. Impact of the intensification of beef

production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. *Agricultural Systems*, v. 143, p. 86–96, 2016.

CARDOSO, A. S.; LONGHINI, V. Z.; BERCA, A. S.; ONGARATTO, F.; SINISCALCHI, D.; REIS, R. A.; RUGGIERI, A. C. Pasture management and greenhouse gases emissions. *Bioscience Journal*, v. 38, e38099, 2022.

CARGILL NUTRIÇÃO ANIMAL. Benchmarking de desempenho de bovinos de corte em sistemas de pastagens no Brasil. 2022. Disponível em: https://www.cargill.com.br/pt_BR/2021/benchmarking-pasto-2022. Acesso em: 16 nov. 2025.

CARVALHO RIBEIRO, A. C.; BARBERO, R. P. Suplementação para bovinos de corte na estação chuvosa: revisão. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 5, n. 1, p. 625–636, 2022.

CASAGRANDE, D. R.; RUGGIERI, A. C.; BERCHIELLI, T. T.; VIEIRA, B. R.; ROTH, A. P. T. P.; REIS, R. A. Sward canopy structure and performance of beef heifers under supplementation in *Brachiaria brizantha* cv. Marandu pastures maintained with three grazing intensities in a continuous stocking system. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, n. 10, p. 2074–2082, 2011.

CHELKAPALLY, S. C.; TERRILL, T. H.; ESTRADA-REYES, Z. M.; OGUNADE, I. M.; PECH-CERVANTES, A. A. Effects of dietary inclusion of dry distillers grains with solubles on performance, carcass characteristics, and nitrogen metabolism in meat sheep: a meta-analysis. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 10, 1141068, 2023.

COELHO, C. S.; BEZERRA, N. M.; OLIVEIRA, H. J. B. Suplementação como estratégia na recria de bovinos a pasto. *Revista Novos Desafios*, v. 4, n. 1, p. 55–63, 2024.

CONGIO, G. F. S.; BANNINK, A.; MAYORGA MOGOLLÓN, O. L.; JAURENA, G.; GONDA, H.; GERE, J. I.; ... HRISTOV, A. N. Enteric methane mitigation strategies for ruminant livestock systems in the Latin America and Caribbean region: a meta-analysis. *Journal of Cleaner Production*, v. 312, 2021.

D'AUREA, A. P.; CARDOSO, A. S.; GUIMARÃES, Y. S. R.; FERNANDES, L. B.; FERREIRA, L. E.; REIS, R. A. Mitigating greenhouse gas emissions from beef cattle production in Brazil through animal management. *Sustainability (Switzerland)*, v. 13, n. 13, 2021.

DALLANTONIA, E. E.; FERNANDES, M. H. M. R.; CARDOSO, A. S.; LEITE, R. G.; FERRARI, A.; ONGARATTO, F.; ... REIS, R. A. Performance and greenhouse gas emission of Nellore and F1 Angus x Nellore yearling bulls in tropical production systems during backgrounding and finishing. *Livestock Science*, v. 251, 2021.

DAMÁZIO, V.; CABALLEROS, P. Brazil eyes global feed market with soaring DDGS output. *S&P Global Commodity Insights*, 24 abr. 2025. Disponível em: <https://www.spglobal.com/commodity-insights/en/news-research/latest-news/refined-products/042425-brazil-eyes-global-feed-market-with-soaring-ddgs-output>. Acesso em: 16 nov. 2025.

DELEVATTI, L. M.; CARDOSO, A. S.; BARBERO, R. P.; LEITE, R. G.; ROMANZINI, E. P.; RUGGIERI, A. C.; REIS, R. A. Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality, and animal performance in a tropical pasture. *Scientific Reports*, v. 9, n. 1, p. 1–9, 2019.

DETMANN, E.; VALENTE, É. E. L.; BATISTA, E. D.; HUHTANEN, P. An evaluation of the performance and efficiency of nitrogen utilization in cattle fed tropical grass pastures with supplementation. *Livestock Science*, v. 162, n. 1, p. 141–153, 2014.

DIAS, M. R.; MORAES, K. A. K.; OLIVEIRA, A. S.; BATISTA, E. D.; SALOMÃO, A. M. R.; ZAMBENEDETTI, A.; ... MORAES, E. H. B. K. Nutritional performance of grazing beef cattle supplemented with high-protein distillers' dried grain. *Animals*, v. 14, n. 8, 1209, 2024.

DOMICIANO, L. F.; SANTOS, M. L.; BOOTE, K. J.; SANTOS, P. M.; PEREIRA, D. H.; PEDREIRA, B. C. Physiological responses and forage accumulation of Marandu palisadegrass and Mombaça guineagrass to nitrogen fertilizer in the Brazilian forage-based systems. *Grassland Science*, v. 67, n. 2, p. 93–101, 2021.

ELLIS, J. L.; DIJKSTRA, J.; KEBREAB, E.; BANNINK, A.; ODONGO, N. E.; MCBRIDE, B. W.; FRANCE, J. Aspects of rumen microbiology central to mechanistic modelling of methane production in cattle. *The Journal of Agricultural Science*, v. 146, n. 2, p. 213–233, 2008.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. Brasília: Embrapa, 353 p, 2013.

ENGEL, C. L.; PATTERSON, H. H.; PERRY, G. A. Effect of dried corn distillers grains plus solubles compared with soybean hulls, in late gestation heifer diets, on animal and reproductive performance. *Journal of Animal Science*, v. 86, n. 7, p. 1697–1708, 2008.

FERNANDES, G. A.; ASSIS, J. R. D.; MOUSQUER, C. J.; NUNES, D.; PADILHA, V. H. T. D. C.; OLINI, L. M. G.; GALDOS-RIVEROS, A. C. Efeitos da suplementação concentrada no consumo de forragem e capacidade de suporte das pastagens na produção de bovinos de corte em pastejo. In: *Inovações na nutrição animal: desafios da produção de qualidade*. v. 1, p. 81–96. Editora Científica Digital, 2021.

FERNANDES, M. H. M. R.; CARDOSO, A. S.; LIMA, L. O.; BERÇA, A. S.; REIS, R. A. Human-edible protein contribution of tropical beef cattle production systems at different levels of intensification. *Animal*, v. 16, 2022.

FERRARI, A. C.; BERÇA, A. S.; SILVA, M. L. C.; LEITE, R. G.; DALLANTONIA, E. E.; ROMANZINI, E. P.; ... REIS, R. A. Effects of supplement type during the pre-finishing growth phase on subsequent performance of Nellore bulls finished in confinement or on tropical pasture. *Applied Animal Science*, v. 38, n. 5, p. 474–486, 2022.

FERRARI, A. C.; LEITE, R. G.; FONSECA, N. V. B.; ROMANZINI, E. P.; CARDOSO, A. S.; BARBERO, R. P.; ... REIS, R. A. Performance, nutrient use, and methanogenesis of Nellore cattle on a continuous grazing system of *Urochloa brizantha* and fed supplement types varying on protein and energy sources. *Livestock Science*, v. 1, p. 104716, 2021.

FONSECA, N. V. B.; CARDOSO, A. S.; BERÇA, A. S.; DORNELLAS, I. A.; ONGARATTO, F.; SILVA, M. L. C.; ... REIS, R. A. Effect of different nitrogen fertilizers on nitrogen efficiency use in Nellore bulls grazing on Marandu palisade grass. *Livestock Science*, v. 263, 105012, 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). *Achieving climate neutrality in agrifood systems*. Rome: FAO, 2021.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). *FAOSTAT statistical database*. Rome: FAO, 2020.

FOX, D. G.; TEDESCHI, L. O.; TYLUTKI, T. P.; RUSSELL, J. B.; VAN AMBURGH, M. E.; CHASE, L. E.; ... OVERTON, T. R. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Animal Feed Science and Technology*, v. 112, n. 1–4, p. 29–78, 2004.

FREITAS, I. B. Estratégias nutricionais para recria e terminação de novilhas em pastagem no período chuvoso. 2023.

GALINDO, F. S.; BUZETTI, S.; FILHO, M. C. M. T.; DUPAS, E.; LUDKIEWICZ, M. G. Z. Acúmulo de matéria seca e nutrientes no capim-Mombaça em função do manejo da adubação nitrogenada. *Revista de Agricultura Neotropical*, v. 5, n. 3, p. 1–9, 2018.

GERBER, P. J.; STEINFELD, H.; HENDERSON, B.; MOTTET, A.; OPIO, C.; DIJKMAN, J.; ... TEMPIO, G. *Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities*. (p. xxi–115), 2013.

HODGSON, J. *Grazing management: science into practice*. Essex: Longman Scientific & Technical, 203 p, 1990.

HOFFMANN, A.; CARDOSO, A. S.; FONSECA, N. V. B.; ROMANZINI, E. P.; SINISCALCHI, D.; BERNDT, A.; ... REIS, R. A. Effects of supplementation with corn distillers' dried grains on animal performance, nitrogen balance, and enteric CH₄ emissions of young Nellore bulls fed a high-tropical forage diet. *Animal*, v. 15, n. 3, 100155, 2021.

HOFFMANN, A.; CARDOSO, A. S.; FONSECA, N. V. B.; ROMANZINI, E. P.; SINISCALCHI, D.; BERNARDI, A.; RUGGIERI, A. C.; REIS, R. A. Effects of supplementation with corn distillers' dried grains on animal performance, nitrogen balance, and enteric CH₄ emissions of young Nellore bulls fed a high-tropical forage diet. *Animals*, v. 1, p. 1, 2020.

HOOK, S. E.; WRIGHT, A. D. G.; MCBRIDE, B. W. Methanogens: methane producers of the rumen and mitigation strategies. *Archaea*, v. 2010, n. 1, 945785, 2010.

HRISTOV, A. N.; OH, J.; FIRKINS, J. L.; DIJKSTRA, J.; KEBREAB, E.; WAGHORN, G.; ... TRICARICO, J. M. Special topics—Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *Journal of Animal Science*, v. 91, n. 11, p. 5045–5069, 2013.

HRISTOV, A. N.; OTT, T.; TRICARICO, J.; ROTZ, A.; WAGHORN, G.; ADESOGAN, A.; ... FIRKINS, J. L. Special topics—Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options. *Journal of Animal Science*, v. 91, n. 11, p. 5095–5113, 2013.

HUHTANEN, P. Thirty years of intensive research to reduce methane emissions—What has been achieved? In: NORDIC FEED SCIENCE CONFERENCE, 12., 2024, Uppsala. *Proceedings...* Uppsala: Nordic Feed Science Conference, 2024. p. 2024.

HÜNERBERG, M.; MCGINN, S. M.; BEAUCHEMIN, K. A.; OKINE, E. K.; HARSTAD, O. M.; MCALLISTER, T. A. Effect of dried distillers' grains with solubles on enteric methane emissions and nitrogen excretion from finishing beef cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, v. 93, p. 373–385, 2013.

IPCC. *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>. Acesso em: 9 nov. 2025.

JANSEN, E.; BANNINK, A.; AGUERRE, M.; POWELL, J. Hydrogen dynamics in rumen fermentation: a review. *Frontiers in Microbiology*, v. 13, p. 1–12, 2022.

JOHNSON, K. A.; JOHNSON, D. E. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, v. 73, n. 8, p. 2483–2492, 1995.

JOHNSON, K.; HUYLEY, M.; WESTBERG, H.; LAMB, B.; ZIMMERMAN, P. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a sulfur hexafluoride tracer technique. *Environmental Science & Technology*, v. 28, n. 2, p. 359–362, 1994.

KLEINSCHMIT, D. H.; ANDERSON, J. L.; SCHINGOETHE, D. J.; KALSCHEUR, K. F.; HIPPEL, A. R. Ruminant and intestinal degradability of distillers grains plus solubles varies by source. *Journal of Dairy Science*, v. 90, p. 2909–2918, 2007.

KOSCHECK, J. F. W.; ROMANZINI, E. P.; BARBERO, R. P.; DELEVATTI, L. M.; FERRARI, A. C.; MULLINI, J. T.; ... REIS, R. A. How do animal performance and methane emissions vary with forage management intensification and supplementation? *Animal Production Science*, v. 60, n. 9, p. 1201–1209, 2020.

LAPIERRE, H.; LOBLEY, G. E. Nitrogen recycling in the ruminant: a review. *Journal of Dairy Science*, v. 84, p. E223–E236, 2001.

LAZZARINI, I.; DETMANN, E.; SAMPAIO, C. B.; PAULINO, M. F.; VALADARES FILHO, S. C.; SOUZA, M. A.; OLIVEIRA, F. A. Intake and digestibility in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, p. 2021–2030, 2009.

LEITE, R. G.; CARDOSO, A. S.; FONSECA, N. V. B.; SILVA, M. L. C.; TEDESCHI, L. O.; DELEVATTI, L. M.; ... REIS, R. A. Effects of nitrogen fertilization on protein and carbohydrate fractions of Marandu palisadegrass. *Scientific Reports*, v. 11, n. 1, 14786, 2021.

LEITE, R. G.; HOFFMANN, A.; ROMANZINI, E. P.; DELEVATTI, L. M.; FERRARI, A. C.; FONSECA, N. V. B.; ... REIS, R. A. Zebu cattle fed dry distiller's grain or cottonseed meal had greater nitrogen utilization efficiency than non-supplemented animals. *Tropical Animal Health and Production*, v. 54, n. 2, 119, 2022.

LIMA, L.; ONGARATTO, F.; FERNANDES, M.; CARDOSO, A.; LAGE, J.; SILVA, L.; ... MALHEIROS, E. Response of pasture nitrogen fertilization on greenhouse gas emission and net protein contribution of Nelore young bulls. *Animals*, v. 12, n. 22, art. 3173, 2022.

LOY, T. W.; MACDONALD, J. C.; KLOPFENSTEIN, T. J.; ERICKSON, G. E. Effect of distillers grains or corn supplementation frequency on forage intake and digestibility. *Journal of Animal Science*, v. 85, n. 10, p. 2625–2630, 2007.

MALIK, M. I.; LI, J.; CAPUCCHIO, M. T.; HASSAN, T.; SUN, X. Effects of distiller's dried grains with solubles on enteric methane emissions in dairy and beef cattle: a meta-analysis. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 11, 1480682, 2024.

MCGINN, S. M.; CHUNG, Y. H.; BEAUCHEMIN, K. A.; IWAASA, A. D.; GRAINGER, C. Use of corn distillers' dried grains to reduce enteric methane loss from beef cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, v. 89, n. 3, p. 409–413, 2009.

MIORIN, R. L.; SAAD, R. M.; SILVA, L. D. F.; GALBEIRO, S.; CECATO, U.; JUNIOR, F. M. The effects of energy and protein supplementation strategy and frequency on the performance of beef cattle that grazed on Tanzania grass pastures during the rainy season. *Tropical Animal Health and Production*, v. 48, n. 8, p. 1561–1567, 2016.

MOORE, J. E. Forage quality indices: development and application. In: *Forage quality, evaluation, and utilization*. p. 967–998, 1994.

MORGAVI, D. P.; FORANO, E.; MARTIN, C.; NEWBOLD, C. J. Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal*, v. 4, n. 7, p. 1024–1036, 2010.

MOTTET, A.; TEILLARD, F.; BOETTCHER, P.; BESI, G. D.; BESBES, B. Review: domestic herbivores and food security: current contribution, trends and challenges for a sustainable development. *Animal*, v. 12, suppl. 2, p. S188–S198, 2018.

MURILLO, M.; HERRERA, E.; RUIZ, O.; REYES, O.; CARRETE, F. O.; GUTIERREZ, H. Effect of supplemental corn dried distillers grains with solubles fed to beef steers grazing native rangeland during the forage dormant season. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 29, n. 5, p. 666, 2015.

MYHRE, G.; SHINDELL, D.; BRÉON, F. M.; COLLINS, W.; FUGLESTVEDT, J.; HUANG, J.; ... ZHANG, H. *Climate change 2013: the physical science basis*. IPCC, 2013.

NABINGER, C. Eficiência do uso de pastagens: disponibilidade e perdas de forragem. *Simpósio sobre manejo da pastagem*, v. 14, p. 213-251, 1997.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). *Nutrient requirements of beef cattle*. 8. ed. Washington, D.C.: The National Academies Press, 388 p, 2016.

O'MARA, F. P.; BEAUCHEMIN, K. A.; KREUZER, M.; MCALLISTER, T. A. Reduction of greenhouse gas emissions of ruminants through nutritional strategies. In: *Livestock and global climate change*. p. 40. ISBN 978-0-906562-62-8, 2008.

ONGARATTO, F.; FERNANDES, M. H. M. R.; DALLANTONIA, E. E.; LIMA, L. O.; VAL, G. A.; CARDOSO, A. S.; ... MALHEIROS, E. B. Intensive production and management of Marandu palisadegrass (*Urochloa brizantha* 'Marandu') accelerates leaf turnover but does not change herbage mass. *Agronomy*, v. 11, n. 9, 1846, 2021.

OPIO, C.; GERBER, P.; MOTTET, A.; FALCUCCI, A.; TEMPIO, G.; MACLEOD, M.; ... STEINFELD, H. Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains: a global life cycle assessment. FAO, 2013.

PASQUINI NETO, R.; FURTADO, A. J.; SILVA, G. V.; LOBO, A. A. G.; ABDALLA FILHO, A. L.; BRUNETTI, H. B.; ... RODRIGUES, P. H. M. Forage accumulation and nutritive value in extensive, intensive, and integrated pasture-based beef cattle production systems. *Crop and Pasture Science*, v. 75, n. 5, 2024.

PASQUINI NETO, R.; FURTADO, A. J.; SILVA, G. V.; LOBO, A. A. G.; ABDALLA FILHO, A. L.; PERNA JUNIOR, F.; ... RODRIGUES, P. H. M. Performance and

feed intake of Nellore steers in extensive, intensive, and integrated pasture-based beef cattle production systems. *Livestock Science*, v. 294, 105667, 2025.

PATRA, A. K. The effect of dietary fats on methane emissions, and its other effects on digestibility, rumen fermentation and lactation performance in cattle: A meta-analysis. *Livestock Science*, v. 155, n. 2–3, p. 244–254, 2013.

PAULINO, M. F.; MORAES, E. H. B. K.; ZERVOUDAKIS, J. T.; ALEXANDRINO, E.; FIGUEIREDO, D. M. Terminação de novilhos mestiços leiteiros sob pastejo, no período das águas, recebendo suplementação com soja. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 35, p. 154–158, 2006.

PEREIRA, M. D. A.; BUNGENSTAB, D. J.; EUCLIDES, V. P.; MALAFAIA, G. C.; BISCOLA, P. H.; MENEZES, G. R.; ... SOUZA, V. F. From traditionally extensive to sustainably intensive: a review on the path to a sustainable and inclusive beef farming in Brazil. *Animals*, v. 14, n. 16, 2340, 2024.

PICANÇO, Y. S.; GOES, R. H. T. B.; GANDRA, J. R.; BARBOSA, D. P.; SILVA, N. G.; OLIVEIRA, R. T.; VALE, J. P. S. Grãos secos de destilaria em suplementos para bovinos a pasto. *Ciência Animal Brasileira / Brazilian Animal Science*, Goiânia, v. 25, 2024.

PONTES-PRATES, A.; CARVALHO, P. C.; LACA, E. A. Mechanisms of grazing management in heterogeneous swards. *Sustainability*, v. 12, n. 20, 8676, 2020.

POPPI, D. P.; MCLENNAN, S. R. Protein and energy utilization by ruminants at pasture. *Journal of Animal Science*, v. 73, n. 1, p. 278–290, 1995.

PRIMAVESI, O.; FRIGHETO, R.; PEDREIRA, M. S.; LIMA, M. A.; BERCHIELLI, T. T.; DEMARCHI, J. J. A. A.; ... WESTBERG, H. H. Técnica do gás traçador SF6 para medição de campo do metano ruminal em bovinos: adaptações para o Brasil. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste. (Documentos, 39), 2004.

REIS, R. A.; ROMANZINI, E. P. O que esperar do uso de DDG na pecuária de corte? Universidade Estadual Paulista, *Research Release*. Jaboticabal-SP, 2020.

REIS, R. A.; RUGGIERI, A. C.; CASAGRANDE, D. R.; PÁSCOA, A. G. Suplementação da dieta de bovinos de corte como estratégia do manejo das pastagens. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, p. 147–159, 2009.

REIS, R. A.; RUGGIERI, A. C.; OLIVEIRA, A. A.; AZENHA, M. V.; CASAGRANDE, D. R. Suplementação como estratégia de produção de carne de qualidade em pastagens tropicais. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 13, p. 642–655, 2012.

RIVERA-HUERTA, A.; RUBIO LOZANO, M. S.; KU-VERA, J. C.; GÜERECA, L. P. Emission factors from enteric fermentation of different categories of cattle in the Mexican tropics: a comparison between 2006 and 2019 IPCC. *Climatic Change*, v. 172, n. 3–4, 23, 2022.

ROMANZINI, E. P.; BARBERO, R. P.; REIS, R. A.; HADLEY, D.; MALHEIROS, E. B. Economic evaluation from beef cattle production industry with intensification in Brazil's tropical pastures. *Tropical Animal Health and Production*, v. 52, n. 5, p. 2659–2666, 2020.

ROSA E SILVA, P. I. J. L. D.; SILVA, Y. R. V. B. E.; SOUSA, D. D. P.; PAULINO, P. V. R.; POSSAMAI, A. J.; FREIRIA, L. B. D.; ... CABRAL, L. D. S. Effect of dried distillers' grains on nutrients digestibility and nitrogen metabolism of Nellore cattle fed non-forage diets. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 53, e20240045, 2024.

ROSA, P. P. Utilização de coprodutos industriais na alimentação de ruminantes: revisão bibliográfica. *Revista Científica Rural*, v. 21, n. 3, p. 222–234, 2019.

RUGGIERI, A. C.; et al. Impactos da intensidade do pastoreio na massa de forragem, estrutura do pasto, emissões de gases de efeito estufa e desempenho animal: análise de pastagens de braquiária. *Agronomia*, v. 10, p. 1750, 2020.

SANTANA, S. S.; BRITO, L. F.; AZENHA, M. V.; OLIVEIRA, A. A.; MALHEIROS, E. B.; RUGGIERI, A. C.; REIS, R. A. Canopy characteristics and tillering dynamics of Marandu palisade grass pastures in the rainy–dry transition season. *Grass and Forage Science*, v. 72, n. 2, p. 261–270, 2017.

SANTOS, C. O.; SIQUEIRA PINTO, A.; SANTOS, M. P.; ALVES, B. J. R.; NETO, M. B. R.; FERREIRA, L. G. Livestock intensification and environmental sustainability: an analysis based on pasture management scenarios in the Brazilian savanna. *Journal of Environmental Management*, v. 355, 120473, 2024.

SHIMA, S.; THAUER, R. K. Methyl-coenzyme M reductase and the anaerobic oxidation of methane in methanotrophic Archaea. *Current Opinion in Microbiology*, v. 8, n. 6, p. 643–648, 2005.

SILVA, P. H. F.; CARVALHO, C. A. B.; MALAFAIA, P.; GARCIA, F. Z.; BARBERO, R. P.; FERREIRA, R. L. Morphological and structural characteristics of *Urochloa decumbens* Stapf. deferred pasture grazed by heifers under two periods of protein-energy supplementation. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 41, e44425, 2019.

SILVA, R. R.; PRADO, I. N.; CARVALHO, G. G. P.; SILVA, F. F.; ALMEIDA, V. V. S.; SANTANA JÚNIOR, H. A.; ... ABREU FILHO, G. Níveis de suplementação na terminação de novilhos Nelore em pastagens: aspectos econômicos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, p. 2091–2097, 2010.

SILVA, Y. R. V. B.; ZERVOUDAKIS, J. T.; HATAMOTO-ZERVOUDAKIS, L. K.; ABREU, M. L. C.; CABRAL, L.; FREIRIA, L. B.; ... POSSAMAI, A. J. Supplementation with different protein profiles for grazing beef cattle supplemented in tropical grass during the rainy-dry transition season. *Tropical Animal Health and Production*, v. 53, n. 1, 29, 2021.

SMITH, P. E.; KELLY, A. K.; KENNY, D. A.; WATERS, S. M. Enteric methane research and mitigation strategies for pastoral-based beef cattle production systems. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 9, p. 958340, 2022.

SOLLENBERGER, L. E.; CHERNEY, D. J. R. Evaluating forage production and quality. In: *The science of grassland agriculture*. Iowa: Iowa State University Press. p. 97–110, 1995.

SOLLENBERGER, L. E.; NEWMAN, Y. C.; MACOON, B. Pasture design and grazing management. In: *Forages: the science of grassland agriculture*. 7. ed. v. 2, p. 803–814, 2020.

SOUZA PACHECO, M.; SOCORRO MASCARENHAS, M.; RUVIARO, C. F. Eficiência produtiva e emissões de CH₄ na pecuária brasileira. *ARACÊ*, v. 7, n. 6, p. 29521–29534, 2025.

SOUZA, V. C.; MESSANA, J. D.; BATISTA, E. D.; ALVES, K. L. G. C.; DIAS, A. V. L.; CAMPOS, L. M.; ... BERCHIELLI, T. T. Assessing amino acid utilization in young Nellore steers fed high concentrate diets with different sources and levels of nitrogen. *Animal Feed Science and Technology*, v. 269, 114642, 2020.

SOUZA, W. L.; NIEHUES, M. B.; CARDOSO, A. S.; CARVALHO, V. V.; PERDIGÃO, A.; ACEDO, T. S.; ... REIS, R. A. Effect of 3-nitrooxypropanol combined with different feed additives on growth performance, carcass traits, enteric methane emissions, and physiological responses in feedlot beef cattle fed a high-concentrate finishing diet. *Animals*, v. 14, n. 23, 3488, 2024.

TAMBARA, A. A. C.; HÄRTER, C. J.; RABELO, C. H. S.; KOZLOSKI, G. V. Effects of supplementation on production of beef cattle grazing tropical pastures in Brazil during the wet and dry seasons: a meta-analysis. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 50, e20210020, 2021.

TEDESCHI, L. O.; JOHNSON, D. C.; ATZORI, A. S.; KANIYAMATTAM, K.; MENENDEZ III, H. M. Applying systems thinking to sustainable beef production management: modeling-based evidence for enhancing ecosystem services. *Systems*, v. 12, n. 11, 446, 2024.

TEDESCHI, L. O.; MUIR, J. P.; RILEY, D. G.; FOX, D. G. The role of ruminant animals in sustainable livestock intensification programs. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, v. 22, n. 5, p. 452–465, 2015.

THOMAS, M. V.; HERSOM, M. J.; THRIFT, T. A.; YELICH, J. V. Comparison of wet brewers' grains or dried distillers' grains as supplements to conserved bermudagrass forage as winter feeding options for beef cows. *Journal of Animal Science*, v. 95, n. 1, p. 361–370, 2017.

TJARDES, J.; WRIGHT, C. Feeding corn distiller's co-products to beef cattle. *SDSU Extension Extra*, ExEx 2036. Dept. of Animal and Range Sciences, p. 1-5, 2002.

U.S. GRAINS COUNCIL (USGC). *A guide to distiller's dried grains with solubles (DDGs User Handbook)*. 3. ed. USGC, 2012.

UNGERFELD, E. M. Shifts in metabolic hydrogen sinks in methanogenesis inhibited ruminal fermentation: a meta-analysis. *Frontiers in Microbiology*, v. 6, 125355, 2015.

VALADARES FILHO, S. C.; MORAES, E. H. B. K.; DETMANN, E.; PAULINO, M. F.; VALADARES, R. F. D.; MORAES, K. A. K.; MARCONDES, M. I. Perspectivas do uso de indicadores para estimar o consumo individual de bovinos alimentados em grupo. In: *REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA*, 43. Anais [...]. p. 291–322, 2006.

VALENTE, T. N. P.; DETMANN, E.; QUEIROZ, A. C.; VALADARES FILHO, S. C.; GOMES, D. I.; FIGUEIRAS, J. F. Evaluation of ruminal degradation profiles of forages using bags made from different textiles. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, p. 2565–2573, 2011.

WICKERSHAM, T. A.; SAWYER, J. E. 120 Protein supplementation of beef cattle to meet human protein requirements. *Journal of Animal Science*, v. 95, supl. 1, p. 59–59, 2016.

WYMAN, C. *Handbook on bioethanol: production and utilization*. CRC Press, 1996.