



ACESSO ABERTO

Data de Recebimento:

16/07/2026

Data de Aceite:

11/09/2026

Data de Publicação:

23/09/2026

***Autor correspondente:**

Eduarda da Rosa Libio, Bacharel em Zootecnia. Telefone de contato (51)99193-4595. E-mail de contato: eduarda.rlibio@hotmail.com.

Citação:

DA ROSA LIBIO, E., Et al. Nutrição de precisão com o objetivo de minimizar o impacto ambiental na produção de ruminantes. **Revista Multidisciplinar em Educação e Meio Ambiente**, v. 7, n. 3, 2026. <https://doi.org/10.51161/integrar/rema/4922>

NUTRIÇÃO DE PRECISÃO COM O OBJETIVO DE MINIMIZAR O IMPACTO AMBIENTAL NA PRODUÇÃO DE RUMINANTES

Eduarda da Rosa Libio^a, Ketlin Scotta de Melo^a, Cesar Henrique Espirito Candal Polia, Fernando Amarilho Silveira^a.

^a Departamento de Zootecnia, Faculdade de Agronomia e Zootecnia. Av. Bento Gonçalves, nº 7712 - Agronomia, Porto Alegre - RS, 91540-000..

RESUMO

A produção de ruminantes desempenha papel fundamental no fornecimento de alimentos, porém está associada à emissão de gases de efeito estufa, especialmente o metano proveniente da fermentação entérica. Nesse contexto, a nutrição de precisão destaca-se como estratégia para aumentar a eficiência produtiva e reduzir os impactos ambientais da atividade. O presente estudo teve como objetivo discutir a aplicação da nutrição de precisão na produção de ruminantes, com ênfase na mitigação das emissões de metano e na melhoria da eficiência alimentar. Foi realizada uma revisão narrativa da literatura no segundo semestre de 2025, utilizando artigos científicos, livros e documentos técnicos obtidos nas bases Google Scholar e SciELO, além de publicações da Food and Agriculture Organization (FAO) e da National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASEM). Foram analisadas 13 publicações, em português e inglês. A literatura consultada demonstrou que a nutrição de precisão favorece o aproveitamento dos nutrientes por meio do ajuste das dietas às exigências dos animais, do monitoramento e da modulação da fermentação ruminal, contribuindo para melhorar a eficiência alimentar e reduzir as emissões de metano. Conclui-se que essa abordagem constitui uma estratégia promissora para conciliar produtividade, eficiência alimentar e sustentabilidade na produção de ruminantes.

Palavras-chave: Nutrição de precisão; Ruminantes; Metano; Eficiência alimentar; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Introduction: Botany teaching is still frequently based on expository and Ruminant production plays a fundamental role in food supply but is associated with greenhouse gas emissions, particularly methane from enteric fermentation. In this context, precision nutrition stands out as a strategy to increase

DOI: 10.51161/integrar/rema/4922

Editora Integrar© 2026.

Todos os direitos reservados.

productive efficiency and reduce the environmental impacts of livestock production. This study aimed to discuss the application of precision nutrition in ruminant production, with emphasis on methane mitigation and improved feed efficiency. A narrative literature review was conducted in the second half of 2025, using scientific articles, books, and technical documents obtained from Google Scholar and SciELO, as well as publications from the Food and Agriculture Organization (FAO) and the National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASEM). Thirteen publications in Portuguese and English were analyzed. The reviewed literature demonstrated that precision nutrition improves nutrient utilization through diet adjustment according to animal requirements, monitoring, and modulation of ruminal fermentation, contributing to greater feed efficiency and reduced methane emissions. It is concluded that this approach represents a promising strategy for reconciling productivity, feed efficiency, and sustainability in ruminant production.

Keywords: Precision nutrition; Ruminants; Methane; Feed efficiency; Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A produção de ruminantes desempenha papel fundamental no abastecimento de alimentos e na economia de diversos países. Entretanto, esse setor também está associado as emissões de gases de efeito estufa, principalmente o metano (CH₄) proveniente da fermentação entérica, tornando necessária a adoção de estratégias capazes de aumentar a eficiência dos sistemas produtivos e reduzir seus impactos ambientais (FAO, 2013; Cottle et al., 2011; FAO, 2024).

Entre essas estratégias, a nutrição de precisão tem recebido crescente atenção por possibilitar o ajuste da alimentação de acordo com as necessidades individuais dos animais. O emprego de ferramentas como sensores, balanças automáticas e softwares de monitoramento permite acompanhar o desempenho dos rebanhos em tempo real, favorecendo a formulação de dietas mais adequadas, o melhor aproveitamento dos nutrientes e a redução das perdas energéticas e das emissões de metano (NASEM, 2021; Martins et al., 2024).

Além dos avanços tecnológicos, diferentes estratégias nutricionais, como a utilização de aditivos alimentares, coprodutos agroindustriais e ingredientes ricos em compostos bioativos, vêm sendo investigadas pelo potencial de modificar a fermentação ruminal, melhorar a eficiência alimentar e contribuir para a mitigação das emissões de metano (Silva de Sant'Ana et al., 2022; Amarilho-Silveira et al., 2022; Bolletta et al., 2022; Scicutella et al., 2024).

Nesse cenário, compreender como a nutrição de precisão pode proporcionar a redução dos impactos ambientais da pecuária é fundamental para o desenvolvimento de sistemas de produção mais eficientes e sustentáveis. Assim, o objetivo deste trabalho é revisar a literatura sobre a aplicação da nutrição de precisão na produção de ruminantes, destacando seu potencial para melhorar a eficiência alimentar e reduzir as emissões de metano.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho consiste em uma revisão narrativa da literatura sobre a aplicação da nutrição de precisão na produção de ruminantes, com enfoque na mitigação das emissões de metano e na sustentabilidade dos sistemas de produção.

A busca bibliográfica foi realizada durante o segundo semestre de 2025, utilizando as bases de dados Google Scholar e SciELO, além de livros e documentos técnicos publicados por instituições de referência,

como a Food and Agriculture Organization (FAO) e a National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASEM).

A estratégia de busca foi conduzida utilizando os descritores "nutrição de precisão", "ruminantes", "metano", "fermentação entérica", "eficiência alimentar", "consumo alimentar residual" e "sustentabilidade", empregados de forma isolada e combinada.

Não foi estabelecida restrição quanto ao período de publicação nem ao idioma, sendo considerados estudos clássicos e publicações recentes que apresentassem relevância científica para a temática.

Foram incluídos artigos científicos, livros e documentos técnicos que abordassem a aplicação da nutrição de precisão, a fisiologia e fermentação ruminal, a eficiência alimentar, o consumo alimentar residual, as tecnologias de monitoramento e as estratégias de mitigação das emissões de metano em ruminantes. Foram excluídos estudos que não apresentavam relação direta com o objetivo desta revisão.

A triagem das publicações foi realizada por meio da leitura dos títulos, resumos e, quando necessário, do texto completo, sendo selecionadas apenas aquelas que apresentavam informações relevantes e relação direta com o tema proposto. Ao final da seleção, foram utilizadas 13 publicações, entre artigos científicos, livros e documentos técnicos, que fundamentaram a elaboração desta revisão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nutrição de precisão e eficiência na produção de ruminantes

Foram analisadas 13 publicações, entre artigos científicos, livros e documentos técnicos, publicadas nos idiomas português e inglês. As publicações selecionadas abordaram diferentes aspectos relacionados à aplicação da nutrição de precisão na produção de ruminantes, incluindo fisiologia e fermentação ruminal, eficiência alimentar, consumo alimentar residual, biohidrogenação ruminal, modulação microbiana por aditivos nutricionais, métodos de avaliação da digestibilidade e do consumo, tecnologias de monitoramento e estratégias para mitigação das emissões de metano. Os resultados e a discussão foram organizadas de forma que fosse permitido reunir e discutir as principais evidências da literatura sobre o potencial da nutrição de precisão para aumentar a eficiência alimentar e reduzir os impactos ambientais da produção de ruminantes.

A nutrição de precisão tem se consolidado como uma estratégia essencial para aumentar a eficiência produtiva e reduzir os impactos ambientais da produção de ruminantes. De acordo com a FAO (2024), o ajuste da alimentação às exigências individuais dos animais favorece o melhor aproveitamento dos nutrientes, reduz desperdícios e auxilia na mitigação das emissões de gases de efeito estufa, especialmente o metano.

Martins et al. (2024) destacam que, diferentemente dos sistemas convencionais, nos quais todos os animais recebem o mesmo manejo alimentar, a nutrição de precisão considera as diferenças existentes entre os indivíduos do rebanho. Para isso, emprega tecnologias como balanças de cocho automáticas, sensores ruminais, coleiras eletrônicas e softwares de monitoramento, capazes de acompanhar, em tempo real, o consumo, o comportamento ingestivo e a eficiência produtiva dos animais. Essas ferramentas possibilitam ajustes contínuos na dieta, favorecendo o equilíbrio ruminal e reduzindo perdas de energia e nutrientes.

A eficiência dessa abordagem está diretamente relacionada ao funcionamento do ambiente ruminal. Fitzsimons et al. (2013) demonstraram que a composição da dieta influencia a microbiota, as rotas de fermentação e a produção de ácidos graxos voláteis (AGVs). Segundo os autores, dietas formuladas de

acordo com as respostas fisiológicas e microbianas estimulam a produção de propionato, que atua como uma via alternativa de utilização do hidrogênio disponível no rúmen, reduzindo sua utilização pelas arqueias metanogênicas e aumentando a eficiência energética do sistema. Esses resultados reforçam as observações da FAO (2024) sobre a importância do manejo nutricional para a mitigação das emissões de metano.

Além do ajuste da dieta, a associação entre aditivos nutricionais e estratégias de monitoramento também tem apresentado resultados promissores. Silva de Sant'Ana et al. (2022) e Amarilho-Silveira et al. (2022) verificaram que dietas equilibradas, associadas ao uso de ionóforos, taninos e ao acompanhamento do Consumo Alimentar Residual (CAR), favorecem a conversão alimentar, reduzem a excreção de nitrogênio e fósforo e contribuem para a diminuição das emissões de metano.

Dessa forma, a literatura demonstra que a nutrição de precisão vai além do simples ajuste das dietas, integrando estratégias nutricionais, tecnologias de monitoramento e conhecimentos sobre o funcionamento do rúmen para otimizar a utilização dos nutrientes. Entretanto, compreender os mecanismos responsáveis por esses benefícios exige o entendimento dos processos fisiológicos e fermentativos que ocorrem no ambiente ruminal, os quais constituem a base para a aplicação da nutrição de precisão.

Fundamentos fisiológicos e ruminais

A aplicação da nutrição de precisão depende da compreensão dos processos fisiológicos que ocorrem no ambiente ruminal, uma vez que eles influenciam diretamente a eficiência alimentar e as emissões de metano. Conforme descrito por Fitzsimons et al. (2013), o rúmen constitui um complexo ecossistema microbiano formado por bactérias, arqueias, protozoários e fungos, que atuam de maneira integrada na degradação dos alimentos e na disponibilização de nutrientes ao hospedeiro.

Durante a fermentação dos carboidratos, especialmente da fração fibrosa da dieta, bactérias celulolíticas, como *Ruminococcus flavefaciens* e *Fibrobacter succinogenes*, produzem ácidos graxos voláteis (AGVs), principalmente acetato, propionato e butirato, além de dióxido de carbono (CO_2) e hidrogênio (H_2) (Fitzsimons et al., 2013). Os AGVs representam a principal fonte de energia metabolizável para os ruminantes, correspondendo a aproximadamente 60 a 80% da energia utilizada pelo animal. Enquanto acetato e butirato participam principalmente do metabolismo energético e da síntese de gordura, o propionato atua como o principal precursor da glicose, desempenhando papel fundamental, sobretudo em animais com elevada exigência nutricional.

Além da produção de AGVs, a fermentação ruminal também resulta na liberação de hidrogênio, cuja remoção é indispensável para manter o equilíbrio do ambiente ruminal. Cottle et al. (2011) destacam que esse hidrogênio é utilizado pelas arqueias metanogênicas, como *Methanobrevibacter ruminantium*, para a formação de metano (CH_4). Embora esse processo seja fisiologicamente importante para a estabilidade da fermentação, representa perda de até 12% da energia bruta ingerida e contribui significativamente para as emissões de gases de efeito estufa. Nesse sentido, a FAO (2024) reforça que a redução das emissões de metano constitui um dos principais desafios para tornar os sistemas de produção de ruminantes mais sustentáveis.

Com base nesse entendimento, a nutrição de precisão busca direcionar o metabolismo ruminal para vias mais eficientes de utilização do hidrogênio, favorecendo a formação de propionato em detrimento da metanogênese. Conforme destaca a FAO (2024), esse objetivo pode ser alcançado por meio do ajuste da relação entre carboidratos estruturais e não estruturais, da utilização de aditivos nutricionais e do monitoramento

contínuo do consumo e do desempenho dos animais. Assim, o conhecimento da fisiologia ruminal constitui a base para o desenvolvimento de estratégias nutricionais capazes de melhorar o aproveitamento da energia da dieta e reduzir as emissões de metano.

Dinâmica dos ácidos graxos voláteis e eficiência energética

Entre os processos fisiológicos envolvidos nesse mecanismo, a produção e a proporção dos ácidos graxos voláteis merecem destaque, pois refletem o padrão de fermentação ruminal e exercem influência direta sobre a eficiência energética e a formação de metano.

Entre os processos fisiológicos que influenciam a eficiência da fermentação ruminal, destaca-se a produção de ácidos graxos voláteis (AGVs), considerados os principais produtos da fermentação microbiana e a principal fonte de energia para os ruminantes. Conforme descrito por Fitzsimons et al. (2013), a proporção entre acetato, propionato e butirato reflete o padrão fermentativo do rúmen e está diretamente relacionada à eficiência de utilização da energia da dieta.

Segundo Fitzsimons et al. (2013), dietas com maior teor de fibra favorecem a produção de acetato, processo que promove maior liberação de hidrogênio (H_2) e, consequentemente, aumenta a disponibilidade desse substrato para as arqueias metanogênicas, intensificando a produção de metano (CH_4). Em contrapartida, o aumento da produção de propionato representa uma via alternativa de utilização do hidrogênio, reduzindo sua disponibilidade para a metanogênese e tornando a fermentação ruminal mais eficiente.

Essas evidências reforçam a importância da relação acetato:propionato como um indicador da eficiência fermentativa. Assim, dietas formuladas com base nos princípios da nutrição de precisão buscam favorecer a produção de propionato, promovendo melhor aproveitamento da energia da dieta e reduzindo as perdas energéticas associadas à produção de metano.

Além da formulação da dieta, Martins et al. (2024) destacam que o uso de tecnologias de monitoramento, capazes de acompanhar parâmetros como pH ruminal, consumo alimentar e padrão de fermentação, permite ajustes contínuos no manejo nutricional. Essa abordagem possibilita manter a estabilidade do ambiente ruminal, reduzir a ocorrência de distúrbios metabólicos, como a acidose, e aumentar a digestibilidade dos nutrientes, refletindo em melhor desempenho produtivo.

Assim, a modulação do perfil de AGVs, aliada ao monitoramento contínuo do ambiente ruminal, representa uma estratégia fundamental para otimizar o aproveitamento energético da dieta e aumentar a eficiência alimentar. Além disso, o redirecionamento do hidrogênio para vias metabólicas mais eficientes reduz sua disponibilidade para a metanogênese, evidenciando a estreita relação entre a produção de AGVs e outros processos fermentativos, como a biohidrogenação ruminal.

Biohidrogenação ruminal e redirecionamento do hidrogênio

A biohidrogenação ruminal constitui um dos processos fisiológicos que influenciam a eficiência da fermentação e a utilização da energia pelos ruminantes. Conforme descrito por Toral et al. (2019), esse processo ocorre quando microrganismos ruminais utilizam o hidrogênio (H_2) disponível para saturar as duplas ligações dos ácidos graxos insaturados, formando ácidos graxos saturados. Entre os principais microrganismos envolvidos destacam-se *Butyrivibrio fibrisolvens* e *Anaerovibrio lipolytica*, cuja atividade exerce influência sobre o balanço redox e a estabilidade do ambiente ruminal.

Além de auxiliar na manutenção da fermentação ruminal, a biohidrogenação interfere diretamente na disponibilidade de compostos bioativos de interesse nutricional, como o ácido linoleico conjugado (CLA), e compete pelo uso do hidrogênio com outras rotas metabólicas, especialmente aquelas relacionadas à produção de propionato (Toral et al., 2019). Como discutido por Fitzsimons et al. (2013), o redirecionamento do hidrogênio para vias fermentativas mais eficientes reduz sua disponibilidade para a metanogênese, favorecendo melhor aproveitamento da energia da dieta. Nesse sentido, a FAO (2024) destaca que estratégias nutricionais capazes de modular esses processos representam alternativas importantes para reduzir as emissões de metano e aumentar a eficiência dos sistemas de produção.

Entre essas estratégias, destaca-se a utilização de ingredientes funcionais capazes de modificar a atividade da microbiota ruminal. Scicutella et al. (2024) e Bolletta et al. (2022) demonstraram que a inclusão controlada de coprodutos agroindustriais, como o bagaço e as folhas de oliveira, ricos em ácidos graxos insaturados e compostos fenólicos, como oleuropeína, hidroxitirosol e tirosol, reduz a biohidrogenação, diminui a produção de metano e melhora o perfil de ácidos graxos da carne e do leite.

Ainda, Scicutella et al. (2024) observaram que a utilização desses coprodutos em dietas isoproteicas e isoenergéticas promove melhorias na eficiência alimentar sem comprometer o desempenho dos animais, evidenciando que a modulação da fermentação ruminal pode agregar valor nutricional aos produtos de origem animal e contribuir para sistemas de produção mais sustentáveis. Esses resultados corroboram as observações de Bolletta et al. (2022) e da FAO (2024), reforçando o potencial da nutrição de precisão para integrar eficiência produtiva, qualidade dos produtos e redução dos impactos ambientais.

Considerando que a biohidrogenação depende da atividade dos microrganismos ruminais, estratégias voltadas à modulação da microbiota, por meio do uso de aditivos nutricionais, têm recebido crescente atenção por seu potencial em otimizar a fermentação ruminal e reduzir as emissões de metano.

Modulação da microbiota ruminal por aditivos nutricionais

A modulação da microbiota ruminal por meio de aditivos nutricionais tem sido apontada como uma das principais estratégias da nutrição de precisão para aumentar a eficiência fermentativa e reduzir as emissões de metano. Entre os compostos mais estudados destacam-se os taninos condensados e os ionóforos, que atuam sobre diferentes grupos microbianos e modificam as vias de fermentação no rúmen.

Silva de Sant'Ana et al. (2022) demonstraram que os taninos condensados, por serem compostos fenólicos capazes de formar complexos com proteínas e polissacarídeos, reduzem a degradação proteica no rúmen e, consequentemente, a produção de amônia (NH₃). Da mesma forma, esses compostos exercem ação seletiva sobre arqueias metanogênicas e protozoários ciliados, contribuindo para a redução da produção de metano sem comprometer a digestibilidade da fibra quando utilizados em concentrações adequadas. Os autores ressaltam que a magnitude dessa resposta depende da composição da dieta, da categoria animal e da dose utilizada, evidenciando a importância da aplicação dos princípios da nutrição de precisão.

Os ionóforos também desempenham papel relevante na modulação da fermentação ruminal. Fitzsimons et al. (2013) e Martins et al. (2024) destacam que compostos como a monensina e a lasalocida alteram o transporte de íons através da membrana de bactérias Gram-positivas, reduzindo a população de microrganismos produtores de acetato e hidrogênio e favorecendo bactérias associadas à produção de propionato. Como consequência, ocorre o redirecionamento do hidrogênio para vias metabólicas mais

eficientes, diminuindo sua disponibilidade para a metanogênese e aumentando o aproveitamento energético da dieta.

Esses efeitos são reforçados pela FAO (2024), que destaca o potencial da utilização de aditivos nutricionais para reduzir a produção de metano entre 10 e 25%, dependendo da composição da dieta e da dose empregada. Associada ao monitoramento contínuo do consumo e do desempenho dos animais, essa estratégia possibilita ajustes mais precisos na alimentação, contribuindo para maior eficiência produtiva e menor impacto ambiental.

Em conjunto, os resultados apresentados por Silva de Sant'Ana et al. (2022), Fitzsimons et al. (2013), Martins et al. (2024) e FAO (2024) evidenciam que a modulação da microbiota ruminal constitui uma ferramenta significativa da nutrição de precisão, capaz de otimizar a fermentação ruminal, melhorar a utilização dos nutrientes e reduzir as emissões de metano. Como essas alterações refletem diretamente na eficiência de aproveitamento da dieta pelos animais, sua associação com indicadores de eficiência alimentar, como o Consumo Alimentar Residual (CAR), torna-se fundamental para o desenvolvimento de sistemas de produção mais eficientes e sustentáveis.

Eficiência alimentar e consumo alimentar residual

As alterações promovidas pela nutrição de precisão sobre a fermentação ruminal refletem diretamente na eficiência de utilização dos nutrientes, tornando a avaliação da eficiência alimentar uma etapa essencial para o manejo nutricional. A literatura evidencia que o Consumo Alimentar Residual (CAR) destaca-se como um dos principais indicadores utilizados para mensurar a eficiência alimentar individual em programas de nutrição de precisão. Esse índice corresponde à diferença entre o consumo observado e o consumo esperado para um determinado nível de desempenho produtivo, permitindo identificar animais capazes de produzir o mesmo ganho de peso com menor ingestão de alimento (Koch et al., 1963).

De acordo com Herd e Arthur (2009), animais com CAR negativo apresentam maior eficiência alimentar, caracterizada por melhor aproveitamento dos nutrientes e menor consumo de alimento para um mesmo desempenho produtivo. Amarilho-Silveira et al. (2022) complementam que esses animais tendem a apresentar fermentação ruminal mais estável, melhor utilização dos ácidos graxos voláteis (AGVs) e menor produção de metano por unidade de alimento consumido, evidenciando a relação entre eficiência alimentar e sustentabilidade dos sistemas de produção.

Essa maior eficiência está associada a fatores fisiológicos como menor gasto energético de manutenção, maior eficiência metabólica e melhor aproveitamento dos nutrientes absorvidos, reduzindo as perdas energéticas durante o metabolismo e favorecendo o desempenho produtivo dos animais (Herd & Arthur, 2009).

Dessa forma, a nutrição de precisão utiliza informações relacionadas ao CAR para ajustar o fornecimento de energia e proteína de acordo com as necessidades individuais dos animais, promovendo maior eficiência na utilização dos nutrientes, redução dos custos com alimentação e menor excreção de resíduos no ambiente. Assim, a avaliação da eficiência alimentar constitui uma ferramenta estratégica para aumentar a produtividade dos rebanhos e promover sistemas de produção mais eficientes e sustentáveis.

Avaliação do consumo e da digestibilidade

Para que essas informações possam ser aplicadas de forma prática nos sistemas de produção, é

fundamental utilizar métodos capazes de avaliar com precisão o consumo de alimento e o aproveitamento dos nutrientes. Nesse contexto, a determinação do consumo de matéria seca e da digestibilidade constitui uma etapa indispensável para o planejamento e o monitoramento das estratégias de nutrição de precisão.

A avaliação do consumo de matéria seca (CMS) e da digestibilidade desempenha papel fundamental na nutrição de precisão, pois fornece informações essenciais para o ajuste das dietas e para a maximização da eficiência alimentar dos ruminantes. De acordo com a NASEM (2021), o conhecimento das exigências nutricionais e do aproveitamento dos nutrientes permite formular estratégias alimentares mais adequadas às necessidades dos animais, contribuindo para melhorar o desempenho produtivo e otimizar a utilização dos recursos alimentares.

Martins et al. (2024) destacam que o monitoramento contínuo do consumo alimentar, aliado às tecnologias de precisão, possibilita acompanhar o desempenho dos animais em tempo real e realizar ajustes nutricionais de acordo com as variações individuais do rebanho. Essa abordagem favorece maior eficiência na utilização dos nutrientes, reduz desperdícios e resulta em sistemas de produção mais sustentáveis.

Além de orientar o planejamento nutricional, a avaliação do consumo e da digestibilidade fornece informações importantes para compreender a eficiência de utilização dos nutrientes e subsidiar decisões relacionadas ao manejo alimentar. A integração desses parâmetros com ferramentas de monitoramento permite identificar diferenças individuais entre os animais e ajustar as dietas de forma mais precisa, aumentando a eficiência produtiva e reduzindo os impactos ambientais da atividade.

Assim, a associação entre a avaliação do consumo, o conhecimento da digestibilidade dos nutrientes e as tecnologias de monitoramento constitui um dos principais pilares da nutrição de precisão, permitindo decisões mais assertivas sobre o manejo alimentar e favorecendo sistemas de produção de ruminantes mais eficientes e sustentáveis (NASEM, 2021; Martins et al., 2024).

O monitoramento em tempo real configura um dos principais avanços da nutrição de precisão, pois possibilita o acompanhamento contínuo do consumo alimentar, do comportamento ingestivo e do desempenho individual dos animais (Martins et al., 2024). De acordo com esses autores, a utilização dessas tecnologias permite identificar variações no padrão de consumo e realizar ajustes nutricionais mais rápidos e precisos, contribuindo para o aumento da eficiência produtiva e para a utilização mais eficiente dos nutrientes.

Entre as principais ferramentas empregadas destacam-se os comedouros automatizados, as balanças individuais, os sensores ruminais e os dispositivos eletrônicos de monitoramento da atividade animal (Martins et al., 2024). Essas tecnologias fornecem informações sobre consumo de alimento, pH ruminal, temperatura, tempo de ruminação e nível de atividade, permitindo uma avaliação detalhada das respostas fisiológicas e comportamentais dos animais e subsidiando decisões relacionadas ao manejo nutricional.

Segundo Martins et al. (2024), a obtenção dessas informações possibilita a identificação precoce de alterações metabólicas e de distúrbios nutricionais, como a acidose ruminal, além de favorecer o ajuste contínuo das dietas de acordo com as necessidades individuais dos animais. Essa abordagem reduz a dependência de avaliações exclusivamente visuais e torna o processo de tomada de decisão mais preciso e baseado em dados objetivos.

A NASEM (2021) destaca que a utilização de informações relacionadas ao consumo alimentar, às exigências nutricionais e ao desempenho dos animais é fundamental para o desenvolvimento de estratégias

alimentares mais eficientes. Quando integradas às tecnologias de monitoramento, essas informações permitem maior precisão na formulação e no ajuste das dietas, favorecendo melhor aproveitamento dos nutrientes e maior eficiência produtiva.

Além dos benefícios relacionados ao desempenho animal, a FAO (2024) ressalta que o monitoramento contínuo constitui uma ferramenta importante para aumentar a eficiência dos sistemas produtivos, reduzir desperdícios e contribuir para a sustentabilidade da produção de ruminantes. Dessa forma, a integração entre tecnologias de monitoramento, avaliação do consumo e planejamento nutricional corresponde a um dos principais pilares da nutrição de precisão, permitindo decisões mais assertivas e sistemas de produção mais eficientes e sustentáveis.

Benefícios ambientais da nutrição de precisão

A adoção da nutrição de precisão tem sido apontada como uma estratégia significativa para reduzir os impactos ambientais da produção de ruminantes, uma vez que o ajuste do fornecimento de nutrientes às exigências dos animais aumenta a eficiência de utilização da dieta, reduz as perdas de nutrientes e contribui para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (FAO, 2024).

Entre os principais benefícios destaca-se a redução das emissões de metano (CH₄). Fitzsimons et al. (2013) demonstraram que dietas formuladas para favorecer a produção de propionato reduzem a disponibilidade de hidrogênio para as arqueias metanogênicas, diminuindo a formação de metano. Além de promover a mitigação dos gases de efeito estufa, essa estratégia reduz as perdas energéticas associadas à metanogênese e melhora a eficiência alimentar. A FAO (2024) reforça que o manejo nutricional destaca-se como uma das principais ferramentas para minimizar essas emissões e tornar os sistemas de produção mais sustentáveis.

Outro aspecto relevante refere-se ao uso mais eficiente dos nutrientes. Segundo a FAO (2024), dietas formuladas de acordo com as exigências nutricionais dos animais contribuem para reduzir a excreção de nitrogênio e fósforo, minimizando o risco de contaminação do solo e dos recursos hídricos, além de favorecer o uso mais racional dos recursos naturais.

A utilização de coprodutos agroindustriais também tem apresentado resultados promissores nesse contexto. Bolletta et al. (2022) e Scicutella et al. (2024) demonstraram que a inclusão de ingredientes como o bagaço e as folhas de oliveira favorece o aproveitamento de resíduos agroindustriais, melhora a eficiência alimentar, reduz as emissões de metano e promove melhorias no perfil nutricional dos produtos de origem animal. Esses resultados evidenciam que a utilização estratégica desses ingredientes pode conciliar ganhos produtivos, econômicos e ambientais.

De modo geral, as evidências reunidas nesta revisão indicam que a nutrição de precisão integra diferentes estratégias capazes de aumentar a eficiência produtiva, otimizar o aproveitamento dos nutrientes e reduzir os impactos ambientais da produção de ruminantes. Portanto, sua aplicação favorece o desenvolvimento de sistemas de produção mais sustentáveis, conciliando desempenho produtivo, viabilidade econômica e responsabilidade ambiental (FAO, 2024; Fitzsimons et al., 2013; Bolletta et al., 2022; Scicutella et al., 2024).

4 CONCLUSÃO

A revisão da literatura permitiu verificar que a nutrição de precisão constitui uma estratégia relevante para aumentar a eficiência dos sistemas de produção de ruminantes e reduzir os impactos ambientais da atividade pecuária. A integração entre o ajuste das dietas às exigências individuais dos animais, o conhecimento da fisiologia ruminal e o uso de tecnologias de monitoramento favorece melhor aproveitamento dos nutrientes, maior eficiência alimentar e redução das emissões de metano, contribuindo para sistemas produtivos mais sustentáveis.

Além disso, a aplicação de estratégias nutricionais, como o uso de aditivos moduladores da fermentação ruminal, ingredientes funcionais e ferramentas de monitoramento contínuo, amplia o potencial da nutrição de precisão para otimizar o desempenho produtivo e promover o uso mais eficiente dos recursos disponíveis.

Considerando os resultados dessa revisão, conclui-se que a nutrição de precisão caracteriza-se como uma alternativa promissora para conciliar produtividade, sustentabilidade e responsabilidade ambiental na produção de ruminantes. Entretanto, a ampliação de pesquisas e o desenvolvimento de novas tecnologias são fundamentais para ampliar sua aplicação em diferentes sistemas de produção, consolidando seu papel no avanço de uma pecuária mais eficiente e de baixo impacto ambiental.

REFERÊNCIAS

AMARILHO-SILVEIRA, F. J.; OLIVEIRA, L. G.; SILVA, D. A.; SANTOS, M. E. Estratégias nutricionais de precisão para mitigação das emissões de metano na pecuária de ruminantes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 51, e20220032, 2022.

BOLLETTA, C.; TARDANI, F.; SCICUTELLA, F.; CALANDRELLI, M.; VITTI, D. M. S. S.; PALMONARI, A. Effect of olive oil co-products on rumen fermentation and methane emissions: a review. *Animals*, v. 12, n. 23, p. 3210, 2022.

COTTLE, D. J.; NOLAN, J. V.; WIEDEMANN, S. G. Ruminant enteric methane mitigation: a review. *Animal Production Science*, v. 51, n. 6, p. 491–514, 2011.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Tackling climate change through livestock: A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Rome: FAO, 2013.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. World livestock: transforming the livestock sector through innovation. Rome: FAO, 2024.

FITZSIMONS, C.; KENNY, D. A.; McGEE, M. Feeding intensity and ruminal fermentation characteristics in beef cattle: effects on methane emissions and feed efficiency. *Journal of Animal Science*, v. 91, p. 5789–5801, 2013.

HERD, R. M.; ARTHUR, P. F. Physiological basis for residual feed intake. *Journal of Animal Science*, v. 87, E64–E71, 2009.

KOCH, R. M.; SWIGER, L. A.; CHAMBERS, D.; GREGORY, K. E. Efficiency of feed use in beef cattle. *Journal of Animal Science*, v. 22, n. 2, p. 486–494, 1963.

MARTINS, T. M.; SANTOS, C. F.; ALVES, L. G.; ROCHA, D. T. Tecnologias aplicadas à nutrição de

precisão em ruminantes. *Revista Ciência Animal Brasileira*, v. 25, e007221, 2024.

NASEM – NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. Nutrient requirements of beef cattle. 9. ed. Washington, DC: The National Academies Press, 2021.

SCICUTELLA, F.; CALANDRELLI, M.; BOLLETTA, C.; PALMONARI, A.; FANTINI, A.; VITTI, D. M. S. S. Effect of olive oil co-products on rumen fermentation, methane production and fatty acid profile in ruminant diets. *Animals*, v. 14, n. 2, p. 215–226, 2024.

SILVA DE SANT’ANA, J. A.; AMARILHO-SILVEIRA, F. J.; VIEIRA, R. A. M. Efeitos de taninos e ionóforos sobre a fermentação ruminal e mitigação de metano. *Archivos de Zootecnia*, v. 71, n. 273, p. 1–11, 2022.

TORAL, P. G.; BELENGUER, A.; FRUTOS, P.; HERVÁS, G. Modulation of ruminal biohydrogenation by dietary fatty acids and plant secondary compounds: a review. *Animal Feed Science and Technology*, v. 251, p. 36–52, 2019.

Bento, N., & Gianfrate, G. (2020). Determinants of internal carbon pricing. *Energy Policy*, 143, 111499–111499. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111499>

Bisinoto, G. D. S., Danzer, V. G., Lara, J. C. de, Zanin, R. B., & Oliveira, E. S. (2025). REGULATORY CHALLENGES OF THE CARBON CREDIT MARKET IN BRAZIL. *Aracê*, 7(10). <https://doi.org/10.56238/arev7n10-013>

Bodnar, Z., & Hernández, J. G. V. (2022). MERCADO DE CRÉDITOS DE CARBONO NA PERSPECTIVA DA GOVERNANÇA CLIMÁTICA TRANSNACIONAL: EXPERIÊNCIAS DO BRASIL E DA COLÔMBIA. *Novos Estudos Jurídicos*, 27(3), 452–474. <https://doi.org/10.14210/nej.v27n3.p452-474>

Campiglio, E. (2016). Beyond carbon pricing: The role of banking and monetary policy in financing the transition to a low-carbon economy. *Archivio Istituzionale Della Ricerca (Alma Mater Studiorum Università Di Bologna)*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.03.020>

Cardoso, A. de O., & Santos, M. N. dos. (2025). CONTABILIDADE DE CARBONO NO BRASIL. *Revista GESTO Revista de Gestão Estratégica de Organizações*, 13(2), 107–125. <https://doi.org/10.31512/gesto.v13i2.1957>

Carvalho, F. D., & Ribeiro, G. (2026). CRÉDITOS DE CARBONO COMO FERRAMENTA DE MITIGAÇÃO CLIMÁTICA E PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. *Revista Juris Verdi*, 3, 63–81. <https://doi.org/10.63835/6vx5he88>

Dias, A. C. M., Tassigny, M. M., Pompeu, G. V. M., & Freire, L. N. M. (2025). FINANCEIRIZAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE, SBCE, INOVAÇÃO E O DESAFIO CONSTITUCIONAL DA GOVERNANÇA CLIMÁTICA NO BRASIL. *Veredas Do Direito Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável*, 22(6). <https://doi.org/10.18623/rvd.v22.n6.3879>

Dias, E. C. L. de C. e M. (2024). Mercado de carbono no Brasil: perspectivas, marcos regulatórios e paradigmas na transição econômica-política-social [LA Referencia]. In *LA Referencia (Red Federada de*

Repositorios Institucionales de Publicaciones Científicas). <https://hdl.handle.net/10438/34741>

Dib, F. R. (2025). Pagamento por Serviços Ambientais, Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões e Mercado Voluntário de Carbono adesão do setor econômico do Agro: Mercado Voluntário de Carbono: horizonte de oportunidades. In Editora Científica Digital eBooks (pp. 104–119). <https://doi.org/10.37885/250519341>

Emeka-Okoli, S., Otonnah, C. A., Nwankwo, T. C., & Nwankwo, E. E. (2024). REVIEW OF CARBON PRICING MECHANISMS: EFFECTIVENESS AND POLICY IMPLICATIONS. *International Journal of Applied Research in Social Sciences*, 6(3), 337–347. <https://doi.org/10.51594/ijarss.v6i3.891>

Fernandes, A. M., Bento, M. R., Ribeiro, C. M., Tejero, I. P. T., & Belarmino, L. C. (2025). Crédito de carbono no Brasil: desafios e perspectivas. *Meio Ambiente (Brasil)*, 7(3). <https://doi.org/10.66205/mabra.v7i3.550>

Filho, J. E. R. V., & Gasquès, J. G. (2023). Agropecuária Brasileira : evolução, resiliência e oportunidades. In IPEA eBooks. <https://doi.org/10.38116/9786556350530>

Filho, L. M. P. D. L., Oliveira, R. C. D., & Kruger, J. M. (2024). Métodos De Contabilização De Créditos De Carbono: Uma Análise Das Práticas Adotadas Em Empresas Brasileiras Listadas Na B3. *IOSR Journal of Business and Management*, 26(12), 53–72. <https://doi.org/10.9790/487x-2612045372>

Fonseca, J. M., & Pereira, B. M. (2024). Desafios e oportunidades da contabilidade ambiental e crédito de carbono no brasil: revisão bibliográfica. *Revista Sociedade Científica*, 7(1), 5793–5818. <https://doi.org/10.61411/rsc202491017>

Freitas, A., & Rocha, A. A. de A. (2025). O Uso da Blockchain no Brasil à luz da Lei 15.042/2024. 28–39. <https://doi.org/10.5753/sbsc.2025.6912>

Kolk, A., Levy, D., & Pinkse, J. (2008). Corporate Responses in an Emerging Climate Regime: The Institutionalization and Commensuration of Carbon Disclosure. *European Accounting Review*, 17(4), 719–745. <https://doi.org/10.1080/09638180802489121>

Lacerda, G. G. de M. (2024). Uma avaliação ex ante do mercado de carbono regulado no Brasil [LA Referencia]. In LA Referencia (Red Federada de Repositorios Institucionales de Publicaciones Científicas). <https://hdl.handle.net/10438/35813>

Lahd, H. (2025). Corporate decarbonization strategies and carbon accounting standards: implementation learnings to inform standard revisions. *Frontiers in Sustainable Energy Policy*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsuep.2025.1599477>

Luers, A., Yona, L., Field, C. B., Jackson, R. B., Mach, K. J., Cashore, B., Elliott, C., Gifford, L., Honigsberg, C., Klaaßen, L., Matthews, H. D., Peng, A., Stoll, C., Pelt, M. V., Virginia, R. A., & Joppa, L. (2022). Make greenhouse-gas accounting reliable — build interoperable systems. *Nature*, 607(7920), 653–656. <https://doi.org/10.1038/d41586-022-02033-y>

Maria, C. S., & Martins, S., Rony Rogério. (2024). Mercado de créditos de carbono no brasil e no mundo : regulamentação, atores, desafios e oportunidades. <https://doi.org/10.11606/003218512>
Marshall, C. I. F. C., & Flores, N. C. (2024a). O ESTADO DA ARTE DO MERCADO DE CRÉDITO DE CARBONO: PERSPECTIVA DE UMA ARQUITETURA REGULATÓRIA NO BRASIL (pp. 45–64).

<https://doi.org/10.17655/9786598165611.4>

Marshall, C. I. F. C., & Flores, N. C. (2024b). O estado da arte do mercado de crédito de carbono: perspectiva de uma arquitetura regulatória no brasil. In Cerceau eBooks (pp. 85–116). <https://doi.org/10.17655/9788567211886.4>

Martinez, M. M. (2026). Mercados de carbono e governança climática policêntrica: encontros e desencontros em relação ao SBCE. *Revista Fórum de Direito Financeiro e Econômico*, 15(28). <https://doi.org/10.52028/rfdfe.v15.i28.art.11.sp>

Martini, G., Habitzreuter, M. R., Souza, L. V. de, & Kumm, F. M. (2026). Entre o discurso ESG e a prática contábil: Divergências na mensuração de créditos de carbono no setor energético brasileiro. <https://doi.org/10.56238/1stcongresssevenmultidisciplinarystudies-347>

Medeiros, artur bittencourt, & Melo, M. E. (2026). MERCADO DE CARBONO E POVOS INDÍGENAS: UMA ANÁLISE SOCIOAMBIENTALISTA. <https://doi.org/10.29327/9786527222279.1217358>

Miltenberger, O., Jospe, C., & Pittman, J. A. (2021). The Good Is Never Perfect: Why the Current Flaws of Voluntary Carbon Markets Are Services, Not Barriers to Successful Climate Change Action. *Frontiers in Climate*, 3. <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.686516>

Monteiro, E. B. (2025). Mercado de carbono e tecnologias para mitigação climática no Brasil. <https://doi.org/10.22482/dspace/730>

Ogunyemi, F. M., & Ishola, A. O. (2024). Implementing carbon accounting frameworks in U.S. SMEs: A pathway to sustainable finance and global competitiveness. *Finance & Accounting Research Journal*, 6(11), 2147–2159. <https://doi.org/10.51594/farj.v6i11.1728>

Oliveira, R. C. de. (2022). TD 2787 - Panorama do hidrogênio no Brasil. Texto Para Discussão, 1–59. <https://doi.org/10.38116/td2787>

Prata, V. L., Silva, P. G. da, & Oliveira, E. L. de. (2025). Análise da adequação das práticas ambientais e contábeis da Suzano frente à Lei no 15.042/2024. *RCMOS - Revista Científica Multidisciplinar O Saber*, 1(2). <https://doi.org/10.51473/rcmos.v1i2.2025.1730>

Puschmann, T., & Quattrocchi, D. (2023). Decreasing the impact of climate change in value chains by leveraging sustainable finance. *Journal of Cleaner Production*, 429, 139575–139575. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139575>

Rahman, M. A. (2025). Decarbonizing India's Economy: The Role of Carbon Pricing in Reducing Carbon Intensity. *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*, 15(3), 20–20. <https://doi.org/10.54560/jracr.v15i3.610>

Santana, I. da S. M. de. (2025). O mercado de carbono sob a tutela do Acordo de Paris: os desafios de sua transcrição no direito brasileiro [LA Referencia]. In LA Referencia (Red Federada de Repositorios Institucionales de Publicaciones Científicas). <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/63098>

Santiago, T. B. (2024). Análise regulatória e contábil-tributária da natureza jurídica do carbono [LA Referencia]. In LA Referencia (Red Federada de Repositorios Institucionales de Publicaciones Científicas). <https://hdl.handle.net/10438/35124>

- Santos, R. R. dos, & Souza, A. L. R. de. (2024). O papel do consórcio nordeste para enfrentamento das mudanças climáticas no Brasil: um estudo exploratório no contexto dos ODS. *Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)*, 15(2). <https://doi.org/10.7769/gesec.v15i2.3517>
- Saxena, A., & Verma, N. (2025). Carbon Accounting: A Comprehensive Review of Methodologies, Applications and Future Directions. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 13(4), 6552–6561. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2025.69880>
- Silva, C. cristina D. (2026). Mercado de Carbono no Brasil: evidências econômicas e aprimoramento institucional para a implementação do SBCE “Projeto MCB-SBCE.” In California Digital Library. <https://doi.org/10.48321/d18a061f57>
- Silva, D., Prolo, C., Braga, P. H. T., Witzke, A., Gomes, T., & Lotero, L. (2025). Corporate emissions and climate targets: Insights from high-emitting firms in Brazil’s transition to sustainability. *PLOS Sustainability and Transformation*, 4(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pstr.0000198>
- Silva, E. L. D., & Uchôa, A. W. G. (2024). REGULAMENTAÇÃO PARA EMISSÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO E REFLEXO NA INDÚSTRIA PETROLÍFERA NO BRASIL. *Revista Contemporânea*, 4(12). <https://doi.org/10.56083/rcv4n12-055>
- Silveira, C. S. da, & Oliveira, L. de. (2021). Análise do mercado de carbono no Brasil: histórico e desenvolvimento. *Novos Cadernos NAEA*, 24(3). <https://doi.org/10.18542/ncn.v24i3.9354>
- Simpa, P., Solomon, N. O., Adenekan, O. A., & Obasi, S. C. (2024). Strategic implications of carbon pricing on global environmental sustainability and economic development: A conceptual framework. *International Journal of Advanced Economics*, 6(5), 139–172. <https://doi.org/10.51594/ijae.v6i5.1134>
- Soares, B. M. (2025). Mercado de carbono no Brasil: Próximos passos. *GV Executivo \b (Impresso)/GV Executivo*, 24(4). <https://doi.org/10.12660/gvexec.v24n4.2025.94418>
- Teixeira, D. dos S. (2024). A NATUREZA JURÍDICA DO CRÉDITO DE CARBONO NO BRASIL E SEUS IMPACTOS NO MERCADO VOLUNTÁRIO. *Revista Políticas Públicas & Cidades*, 13(2). <https://doi.org/10.23900/2359-1552v13n2-157-2024>
- Vieira, A. C. P., Garcia, J. R., Vieira, C. de A., Ruthes, S., Wildauer, L. D. B. S., & Souza, M. de. (2025). O mercado regulado de carbono no Brasil. *Estudos Avançados*, 39(114). <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.202539114.009>