



EMIÇÃO E MITIGAÇÃO DA PRODUÇÃO DE METANO ENTÉRICO POR BOVINOS EM PASTAGENS

Frederico Patrus Ananias de Assis Pires

Lúcio Carlos Gonçalves

Rafael Araújo de Menezes

Guilherme Lobato Menezes

Alan Figueiredo de Oliveira

João Vítor Araújo Ananias

Pamella Grossi de Sousa

Daniel Ananias de Assis Pires

RESUMO

O setor pecuário possui grande responsabilidade sobre a segurança alimentar do planeta. Apesar da sua importância, esse setor tem sido relacionado aos impactos ambientais causados pelas emissões dos gases causadores do efeito estufa como o metano. Contudo, diversos estudos demonstraram que é possível minimizar os impactos dessas emissões. Assim, objetivou-se discutir os principais aspectos relacionados a emissão e à mitigação da produção de metano entérico por bovinos em pastagens. Foi realizada uma revisão dos principais trabalhos que avaliaram estratégias para reduzir as emissões de metano entérico por bovinos mantidos em pastagens. A associação entre estratégias de manejo sanitário e zootécnico dos rebanhos possui um elevado potencial mitigador. A recuperação de pastagens e o uso de sistemas de produção integrados podem levar a menores emissões de metano por kg de produto produzido e por área. Essas práticas também podem levar a um aumento do sequestro de carbono atmosférico, o que pode compensar as emissões dos animais. Além disso, o tipo de forrageira utilizada, o manejo das pastagens e a suplementação dos animais com fontes de amido, de lipídeos e o uso de aditivos representam importantes abordagens para reduzir a produção do metano entérico. Os impactos ambientais causados pelas emissões de metano entérico por bovinos criados em pastagens podem ser significativamente reduzidos ou totalmente compensados.

PALAVRAS-CHAVE: Fermentação ruminal; Sustentabilidade; Meio ambiente; Pecuária.

ABSTRACT:

The livestock sector has great responsibility for the food security of the planet. Despite its importance, this sector has been linked to the environmental impacts caused by emissions of greenhouse gases such as methane. However, several studies have shown that it is possible to minimize the impacts of these emissions. Thus, the objective was to discuss the main aspects related to the emission and mitigation of enteric methane production by cattle in pastures. A review of the main studies that evaluated strategies to reduce emissions of enteric methane by cattle kept in pastures was carried out. The association between health and zootechnical management strategies has a high mitigating potential. The recovery of pastures and the use of integrated production systems can lead to less methane per kg of product produced and per area. These practices can also lead to an increase in atmospheric carbon sequestration, which can offset emissions from animals. In addition, the type of forage used, pasture management and supplementation of animals with sources of starch, lipids and the use of additives represent important approaches to reduce enteric methane production. The environmental impacts caused by enteric methane emissions from cattle raised on pastures can be significantly reduced or fully compensated.

KEYWORDS: Ruminal fermentation; Sustainability; Environment; Livestock.

1. INTRODUÇÃO

Projeções realizadas pelas Nações Unidas (UN, 2019) apontaram que a população mundial deve crescer 11% até o ano de 2030. Com o crescimento populacional também haverá aumento da demanda por alimentos, principalmente pelos de elevada densidade nutricional como os de origem animal. Nesse contexto, o Brasil possui o maior rebanho bovino comercial do mundo, é o maior exportador de carne bovina (ABIEC, 2020) e o quinto maior produtor de leite (FAO, 2019). Portanto, devido a posição de destaque que ocupa, a pecuária nacional tem grande responsabilidade sobre a segurança alimentar do planeta.

Apesar da sua importância, a atividade pecuária é apontada como uma das causadoras do aquecimento global, pela intensificação do efeito estufa. Esse processo ocorre pelo aumento das emissões de gases do efeito estufa (GEE) como o gás carbônico (CO_2), o óxido nitroso (N_2O) e o metano (CH_4). O CO_2 é o gás de referência utilizado para quantificar as emissões e, para fins de comparação, todos os outros GEE são convertidos em equivalentes de CO_2 (CO_2eq). Na pecuária, o principal gás emitido é o metano. Esse gás é produzido principalmente pela fermentação dos alimentos no rúmen e é 21 vezes mais potente do que o CO_2 como potencial causador do aquecimento global (IPCC, 2019).

No Brasil, os sistemas de criação de bovinos ocorrem predominantemente em pastagens, uma condição diferente da maioria dos países produtores de carne bovina. Esse sistema é favorável ao país, uma vez que possibilita economia no uso de recursos. Porém, o modelo de produção nacional é criticado pela sua ineficiência e pelos baixos índices zootécnicos que resultam em maiores emissões de GEE por kg de carne ou leite produzidos (IPCC, 2019). Diversos estudos mostram que é possível aumentar a eficiência do modelo de produção a pasto e reduzir os impactos ambientais gerados, especialmente em relação à emissão de metano entérico. Dessa forma, objetivou-se discutir os principais aspectos relacionados à emissão e à mitigação da produção de metano entérico por bovinos em pastagens.

2. DESENVOLVIMENTO

As emissões de GEE pela pecuária representam 14,5% das emissões totais de CO₂eq no mundo (GERBER et al., 2013). Os bovinos emitem 65% desse valor, o que corresponde a 9,4% do total (GERBER et al., 2013). No Brasil, dados das Estimativas Anuais de Emissões de GEE (MCTIC, 2017) demonstraram que a bovinocultura é responsável por 20% do total de CO₂eq emitidos. Esse quadro se justifica pela maior participação das atividades agropecuárias na economia. Além disso, a maior parte da produção de energia no Brasil é renovável, o que aumenta a proporção das emissões relacionadas com a pecuária no total (MCTIC, 2017).

Os bovinos contribuem com as emissões de GEE principalmente pela emissão de metano produzido pela fermentação entérica (87% do total de metano emitido no país) (MCTIC, 2017). O metano entérico é produzido no rúmen por microrganismos do domínio archaea, pertencentes ao filo Euryarchae, com o uso de hidrogênio (H₂) e CO₂ (JANSSEN e KIRS, 2008). Esse processo leva à perda de energia pelos animais, variando de 2% a 12% do total consumido (JOHNSON e JOHNSON, 1995).

A quantidade de metano produzido pelos bovinos é influenciada por diversos fatores (NIU et al., 2018). Knapp et al. (2014) realizaram um estudo de metanálise sobre a emissão de metano entérico por vacas em lactação. Nesse trabalho, os autores demonstraram que a combinação de melhoramento genético e estratégias de manejo do rebanho podem levar a reduções de 15 a 30% na produção de CH₄ por kg de leite produzido. As principais estratégias citadas foram: redução do estresse térmico, controle e prevenção de doenças, instalações adequadas e aumento da vida produtiva. Esses autores também demonstraram que estratégias nutricionais, isoladamente, podem promover reduções de até 15% de CH₄/kg de leite. Um trabalho de revisão realizado por Beukes et al. (2010) em fazendas da Nova Zelândia obteve

resultados parecidos. Os autores observaram que a seleção de animais mais eficientes, diminuindo o número de animais improdutivos pode diminuir a produção de metano em até 8%. Além disso, concluíram que a melhoria do manejo de pastagens pode reduzir as emissões em até 18%. Assim, observa-se que aumentar a eficiência do sistema produtivo, com uso de estratégias nutricionais ou de gestão do manejo dos rebanhos é uma importante forma de se mitigar a emissão de CH₄ entérico.

A emissão de metano entérico varia de acordo com o tipo de sistema produtivo e a sua localização no planeta (NIU et al., 2018; CHANG et al., 2019). No Brasil a maior parte da produção pecuária é extensiva. A área de pastagem do país (nativas e cultivadas) ocupa aproximadamente 160 milhões de hectares (PARENTE e FERREIRA, 2018). Porém, aproximadamente 70% dessa área encontra-se em algum nível de degradação (DIAS-FILHO, 2014). Segundo Dias-Filho (2017), a degradação das pastagens resulta em menor capacidade de suporte e valor nutricional, com menor desempenho animal individual e por área (kg de produto por ha). Essa condição contribui negativamente para a eficiência do sistema e resulta em maiores emissões de metano por unidade de produto produzido (GUIMARÃES JR et al., 2010). Dessa forma, a recuperação de pastagens degradadas representa uma importante estratégia mitigadora, pois possibilita maiores desempenhos com diluição da produção de metano por kg de produto. Além disso, práticas de manejo adequadas promovem maior acúmulo de carbono (C) no solo das pastagens, em quantidades suficientes para anular até 80% das emissões de CO₂eq por um bovino de corte adulto (IPCC, 2000).

As emissões de GEE pela atividade pecuária podem ser reduzidas ou totalmente compensadas pela utilização de sistemas de integração lavoura pecuária (ILP) ou lavoura pecuária floresta (ILPF) (OLIVEIRA et al., 2017). Nos sistemas de integração, ocorre sinergismo entre os componentes, o que resulta em maior sustentabilidade da atividade (PACCIULLO et al., 2017). No geral, os sistemas de ILP proporcionam maiores produtividades por área e fixação de carbono na matéria orgânica do solo (maior eficiência no uso de fertilizantes e corretivos) (RIBEIRO et al., 2019). Nos sistemas de ILPF, o sombreamento pode exercer efeito negativo sobre a taxa de acúmulo da pastagem e na capacidade de suporte da área. Esse efeito pode ser maior ou menor, de acordo com o arranjo e a quantidade de árvores no sistema (SANTOS et al., 2018).

Apesar dos efeitos negativos, na ILPF ocorrem aumentos significativos na fixação de carbono, pela transformação do CO₂ atmosférico em biomassa vegetal do componente florestal (SOUZA et al., 2019). De acordo com Souza et al. (2019), o uso de 15% da área total de pastagem no sistema de ILPF, numa densidade de 417 árvores/ha⁻¹, seria suficiente para

compensar todas as emissões de CH_4 por animais de recria e ainda fornecer um saldo positivo de carbono na propriedade. Assim, esses autores concluíram que a ILPF consiste em uma alternativa ambiental viável para tornar a pecuária brasileira neutra quanto à emissão de GEE.

Segundo Cottle et al. (2011), nos sistemas de produção de bovinos em pastagens, o nível de consumo, a qualidade da forragem disponível e a digestibilidade da massa ingerida são fatores determinantes para a produção de metano entérico. A espécie e a família da forrageira utilizada podem interferir nesses aspectos. Um estudo de metanálise realizado por Archimed (2011) demonstrou que animais alimentados com elevada proporção de leguminosas tropicais produziram 20% menos CH_4 em comparação aos alimentados somente por gramíneas tropicais. Os autores justificaram os valores devido à elevada concentração de taninos condensados, que reduzem a digestibilidade da fibra em detergente neutro (FDN) no rúmen. Nesse mesmo trabalho os autores demonstraram que animais em pastagens de gramíneas do tipo C3 apresentaram produções de CH_4 17 % menores em relação aos animais que consumiram gramíneas do tipo C4. Os autores explicaram essas diferenças com base nos conteúdos de FDN dessas espécies (maior nas gramíneas de metabolismo C4). Sabe-se que na fermentação da FDN o principal produto final é o ácido acético (HUNGATE, 1966). A fermentação acética disponibiliza maiores quantidades de H_2 no rúmen, o que favorece a atividade metanogênica (MOSS et al., 2000).

A proporção entre celulose e hemiceluloses também está relacionada com a produção de CH_4 . Conforme equação proposta por Moe e Tyrrell (1979), na fermentação das hemiceluloses a produção de CH_4 é três vezes menor quando comparada com a da celulose (37 %). Nesse sentido, Lima et al. (2018), avaliaram a produção de metano in vitro de três forrageiras tropicais: *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria decumbens* e *Panicum maximum*. Nesse trabalho não foram encontradas diferenças nos valores de digestibilidade da matéria orgânica, porém, foi observada maior produção de metano pelo *Panicum maximum*. A justificativa dada pelos autores foi a qualidade da FDN, que apresentou elevadas proporções de celulose em relação às hemiceluloses. Entretanto, o manejo utilizado e a fertilidade do solo também podem ter influenciado os resultados obtidos.

No geral, o manejo da pastagem que prioriza o ponto de pastejo ideal para cada gramínea aumenta a eficiência de uso da forragem, o valor nutritivo e a longevidade produtiva (ANJOS et al., 2016). Esses aspectos estão diretamente relacionados à idade, à massa de forragem e à altura do pasto no momento de uso. Wims et al. (2010) avaliaram os efeitos da variação da massa de forragem pré-pastejo (1000 kg/ha ou 2200 kg/ha) sobre o consumo, a emissão de metano e a produção de leite. No tratamento de menor massa de forragem houve

menor produção de $\text{CH}_4/\text{kg}/\text{leite}$ e por kg de matéria seca (MS) consumida. Os autores concluíram que os resultados ocorreram devido à maior digestibilidade e a maior proporção de carboidratos solúveis presentes na pastagem jovem. A interpretação desses resultados deve ser criteriosa, e para suas aplicações, deve-se considerar a fisiologia da planta e a manutenção da longevidade das pastagens.

O uso de forrageiras de elevada digestibilidade pode aumentar o nível de consumo de matéria seca (CMS) e também a produção total de CH_4 . Esse processo ocorre devido a maior quantidade e extensão de fermentação dos alimentos no rúmen (LIU et al., 2017). Porém, incrementos no desempenho dos animais reduzem a proporção de CH_4 emitido por unidade de produto (carne ou leite). Portanto, as estimativas da emissão de metano entérico devem ser expressas em relação ao CMS ou ao produto animal (PEREIRA et al., 2015).

Uma outra estratégia mitigadora é elevar a proporção do consumo de carboidratos não fibrosos (CNFs) como o amido (MOE e TYRRELL, 1979). A fermentação desses carboidratos é predominantemente propiônica e resulta em menor disponibilidade de íons H_2 para a atividade metanogênica no rúmen (JOHNSON e JOHNSON, 1995). Dall-Orsoletta et al. (2019) avaliaram o efeito da suplementação de vacas em lactação mantidas em pastagens de aveia e azevém com fontes de amido. As fontes usadas foram o milho moído (3,2 kg de MS/animal) ou a silagem de milho (4,2 kg de MS/animal). Os autores observaram que as duas suplementações testadas reduziram a produção total de CH_4/kg de MS ingerida, porém não encontraram diferenças na produção de $\text{CH}_4/\text{kg}/\text{leite}$. Este resultado pode ser explicado pela elevada digestibilidade da forrageira (79%) e pelos baixos incrementos na produção de leite pelos animais suplementados.

Resultados distintos foram observados em outros estudos. Aguerre et al. (2011) estudaram os efeitos do aumento da proporção de grãos (ricos em amido) de 32% para 53% em dietas de vacas no início da lactação. Os resultados encontrados indicaram que é possível reduzir as perdas de energia pela produção de CH_4 em até 20%. Jião et al. (2014) conduziram um estudo com 88 vacas no início e no meio da lactação, mantidas em sistema de pastejo rotacionado e suplementadas com 2, 4, 6 ou 8 kg de concentrado. Esses autores observaram uma redução gradativa das emissões de CH_4/kg de leite produzido, com o uso de maiores quantidades de concentrado. Essa redução correspondeu a uma queda de 30% na comparação entre os animais que receberam 2 kg e 8 kg de concentrado.

Desse modo, quanto ao uso de grãos (CNFs) para reduzir as emissões de CH_4 , deve-se considerar o nível de inclusão, a qualidade da pastagem e o nível produtivo/estádio fisiológico dos animais (PEREIRA et al., 2015). Além disso, a redução da emissão de CH_4 pelo uso dos

grãos na dieta pode ser parcialmente compensada pelo aumento da emissão de GEE em outras etapas da sua produção como: cultivo, colheita e transporte (KNAPP et al., 2014)

Assim como a proporção de CNFs, o percentual de extrato etéreo (EE) consumido também influencia a produção de CH_4 pelos ruminantes (JOHNSON e JOHNSON, 1995; BENAOUA et al., 2019). Pereira et al. (2015), em um estudo de revisão, demonstraram que a suplementação com lipídios pode reduzir a produção de CH_4 por múltiplos mecanismos, entre eles:

- a) Redução da matéria orgânica fermentável no rúmen;
- b) Redução direta da atividade metanogênica pela presença de ácidos graxos de cadeia média;
- c) Efeito tóxico dos ácidos graxos poliinsaturados (AGPs) sobre as bactérias celulíticas e protozoários;
- d) Cio-hidrogenação desses AGPs com a redução da disponibilidade de H_2 no rúmen.

Beck et al. (2019) avaliaram o efeito da suplementação com caroço de algodão, gordura protegida ou óleo de soja na produção de CH_4 por novilhos de corte a pasto. Em média, o EE da dieta consumida foi de 5,7%. Os três tratamentos reduziram a produção diária de CH_4 em uma média de 12%. Em relação a intensidade de emissão (g de CH_4 /kg de ganho médio) a redução média foi de 51%. Apesar desses valores significativamente elevados, é importante ressaltar que não foram considerados os possíveis efeitos de compensação do uso de oleaginosas na emissão de GEE em outras partes da cadeia produtiva da carne.

A manipulação do ecossistema ruminal com o uso de aditivos também pode reduzir as emissões de CH_4 . Entre os aditivos mais usados estão os ionóforos, representados principalmente pela Monensina, a Lasolacida e a Salinomocina (NAGARAJA et al. 1997). Os ionóforos são aditivos que atuam como antimicrobianos, capazes de reduzir a população de protozoários ciliados e de bactérias gram-positivas produtoras de acetato, butirato e H_2 (MORAIS et al., 2006). Desse modo, esses aditivos podem aumentar a eficiência alimentar e reduzir a produção de CH_4 (LI et al., 2018). Conforme Tedeschi et al. (2003) a inclusão de ionóforos na dieta pode reduzir as emissões totais de CH_4 em até 25% e a ingestão de alimentos em 4 % sem interferir no desempenho dos animais. Entretanto, o efeito pode ser transitório, pelo desenvolvimento de resistência microbiana, e existe uma grande pressão mundial para redução do uso desses aditivos. Como alternativa, outros aditivos baseados em extratos vegetais e óleos essenciais têm sido estudados (KIM et al., 2014; COBELLIS et al., 2016; KOLLING et al., 2018). A maior parte desses estudos demonstrou reduções na

produção entérica de CH₄. Trabalhos que avaliaram o uso desses aditivos em animais sob pastejo em relação a produção de CH₄ ainda são escassos.

5. CONCLUSÃO

A contribuição dos bovinos a pasto no processo de aquecimento global pode ser totalmente compensada ou, pelo menos, significativamente reduzida. As principais estratégias envolvem melhorias na eficiência produtiva dos sistemas e dos aspectos nutricionais dos animais.

Novos estudos para a promoção de tecnologias e práticas de manejo mitigadoras são importantes. Porém, devem ser criteriosos quanto às comparações e implicações realizadas.

REFERÊNCIAS

AGUERRE, M. J. *et al.* Effect of forage-to-concentrate ratio in dairy cow diets on emission of methane, carbon dioxide, and ammonia, lactation performance, and manure excretion. **Journal of Dairy Science**, v. 94, n. 6, p. 3081-3093, jun. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2010-4011>.

ANJOS, Albert José dos *et al.* Forage mass and morphological composition of Marandu palisade grass pasture under rest periods. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 1, p. 76-86, fev. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1413-70542016000100007>.

ARCHIMÈDE, H. *et al.* Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. **Animal Feed Science and Technology**, v. 166-167, p. 59-64, jun. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.003>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE (ABIEC). **Perfil da Pecuária no Brasil: Relatório anual 2020**. São Paulo, 2020. 49p.

BECK, M. R. *et al.* Fat supplements differing in physical form improve performance but divergently influence methane emissions of grazing beef cattle. **Animal Feed Science and Technology**, v. 254, p. 114210, jul. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114210>.

BENAOUDA, Mohammed *et al.* Evaluation of the performance of existing mathematical models predicting enteric methane emissions from ruminants: animal categories and dietary mitigation strategies. **Animal Feed Science and Technology**, v. 255, p. 114207, ago. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114207>.

BEUKES, P. C. *et al.* Improving production efficiency as a strategy to mitigate greenhouse gas emissions on pastoral dairy farms in New Zealand. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 136, n. 3-4, p. 358-365, 15 mar. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.08.008>.

BRASIL. Ministério Da Ciência, Tecnologia, Inovações E Comunicações. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa**. 4. ed. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <http://sirene.MCTIC.gov.br/documents/1686653/1706227/4ed_ESTIMATIVAS_ANUAIS_WEB.pdf/a4376a93-c80e-4d9f-9ad2-1033649f9f93>. Acesso em: 04 abr. 2020.

CHANG, Jinfeng *et al.* Revisiting enteric methane emissions from domestic ruminants and their $\delta^{13}\text{CCH}_4$ source signature. **Nature Communications**, v. 10, n. 1, 31 jul. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11066-3>.

COBELLIS, Gabriella; TRABALZA-MARINUCCI, Massimo; YU, Zhongtang. Critical evaluation of essential oils as rumen modifiers in ruminant nutrition: a review. **Science of The Total Environment**, v. 545-546, p. 556-568, mar. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.103>.

COTTLE, D. J.; NOLAN, J. V.; WIEDEMANN, S. G. Ruminant enteric methane mitigation: a review. **Animal Production Science**, v. 51, n. 6, p. 491, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/an10163>.

DALL-ORSOLETTA, A. C. *et al.* Enteric methane emission from grazing dairy cows receiving corn silage or ground corn supplementation. **Animal Feed Science and Technology**, v. 253, p. 65-73, jun. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.05.009>.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens o que é e como evitar**. Brasília-DF, 2017. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/amazonia-oriental/publicacoes>>. Acesso em 30 de mar. 2020.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das Pastagens no Brasil**. Belém-PA, 2014. Disponível em: www.cpatu.embrapa.br/publicacoes online. Acesso em 30 de mar. 2020

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Dairy Market Review**. Roma: [s. n.], 2019. 11p.

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

GUIMARÃES JÚNIOR, R. et al. Produção animal na integração lavoura-pecuária. In: SIMPÓSIO MINEIRO DE NUTRIÇÃO DE GADO DE LEITE, 2010, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG, 2010. p. 111-123.

HUNGATE, Robert E. The rumen as a continuous fermentation system. In: HUNGATE, Robert E. **The rumen and its microbes**. [S. l.]: Elsevier, 1966. p. 206-244. ISBN 9781483233086. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/b978-1-4832-3308-6.50008-5>.

IPCC 2019. **2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Disponível em <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>. Acesso em: 25 mar. 2020.

IPCC 2000. Special Report on Emissions Scenarios. **Cambridge University Press for the Intergovernmental Panel of Climate Change**, Cambridge. 2000. 608p.

JANSSEN, Peter H.; KIRS, Marek. Structure of the archaeal community of the rumen. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 74, n. 12, p. 3619-3625, 18 abr. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/aem.02812-07>.

JIAO, H. P. *et al.* Effect of concentrate feed level on methane emissions from grazing dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 11, p. 7043-7053, nov. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-7979>.

JOHNSON, K. A.; JOHNSON, D. E. Methane emissions from cattle. **Journal of Animal Science**, v. 73, n. 8, p. 2483-2492, 1 ago. 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>.

KIM, W. Y. *et al.* Effects of *Cordyceps militaris* on the growth of rumen microorganisms and in vitro rumen fermentation with respect to methane emissions. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 11, p. 7065-7075, nov. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8064>.

KNAPP, J. R. *et al.* Invited review: enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 6, p. 3231-3261, jun. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7234>.

KOLLING, G. J. *et al.* Performance and methane emissions in dairy cows fed oregano and green tea extracts as feed additives. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 4221-4234, maio 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13841>.

LIMA, Danilo Montalvão *et al.* Morphological characteristics, nutritive quality, and methane production of tropical grasses in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 3, p. 323-331, mar. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2018000300007>.

LIU, Z. *et al.* Enteric methane conversion factor for dairy and beef cattle: effects of feed digestibility and intake level. **Transactions of American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 60, n. 2, p. 459-464, 2017.

LI, Z. J. *et al.* Dynamics of methanogenesis, ruminal fermentation, and alfalfa degradation during adaptation to monensin supplementation in goats. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 2, p. 1048-1059, fev. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13254>.

MOE, P. W.; TYRRELL, H. F. Methane production in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 62, n. 10, p. 1583-1586, out. 1979. Disponível em: [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(79\)83465-7](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(79)83465-7).

MORAIS, J. A. S.; BERCHIELLI, T. T.; REIS, R. A. Aditivos. In: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP, 2006. Cap 18, p. 111-140.

MOSS, Angela R.; JOUANY, Jean-Pierre; NEWBOLD, John. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. **Annales de Zootechnie**, v. 49, n. 3, p. 231-253, maio 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/animres:2000119>.

NAGARAJA, T. G. *et al.* Manipulation of ruminal fermentation. In: NAGARAJA, T. G. *et al.* **The rumen microbial ecosystem**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1997. p. 523-632. ISBN 9789401071499. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-94-009-1453-7_13.

NIU, Mutian *et al.* Prediction of enteric methane production, yield, and intensity in dairy cattle using an intercontinental database. **Global Change Biology**, v. 24, n. 8, p. 3368-3389, 8 mar. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.14094>.

OLIVEIRA, P. P. A. *et al.* Balanço e emissões de gases de efeito estufa em sistemas integrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 1.; ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 4., Pato Branco, 2017. **Intensificação com sustentabilidade**. Cascavel: UTFPR, 2017. p. 23-32.

PACIULLO, D. S. C. *et al.* Oportunidades e desafios dos sistemas integrados na produção. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 25, p. 25-35, 2017.

PARENTE, Leandro; FERREIRA, Laerte. Assessing the spatial and occupation dynamics of the brazilian pasturelands based on the automated classification of MODIS images from 2000 to 2016. **Remote Sensing**, v. 10, n. 4, p. 606, 14 abr. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs10040606>.

RIBEIRO, Lg *et al.* Enteric methane mitigation strategies in ruminants: a review. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuaria**, v. 28, n. 2, 20 abr. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v28n2a02>.

RIBEIRO, Ricardo H. *et al.* Managing grazing intensity to reduce the global warming potential in integrated crop-livestock systems under no-till agriculture. **European Journal of Soil Science**, 29 nov. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ejss.12904>.

SANTOS, Darliane de Castro *et al.* Implementation of silvopastoral systems in Brazil with Eucalyptus urograndis and Brachiaria brizantha: productivity of forage and an exploratory test of the animal response. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 266, p. 174-180, nov. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.017>.

SOUZA *et al.* **Integração lavoura-pecuária-floresta como estratégia para compensação das emissões de gases de efeito estufa**. Planaltina-DF, 2019. Disponível em: <<https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/?initQuery=t>>. Acesso em 30 de mar. 2020

TEDESCHI, Luis Orlindo; FOX, Danny Gene; TYLUTKI, Thomas Paul. Potential environmental benefits of ionophores in ruminant diets. **Journal of Environmental Quality**, v. 32, n. 5, p. 1591-1602, set. 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/jeq2003.1591>.

UNITED NATIONS 2019 (UN 2019). 2019 Revision of World Population Prospects. **Department of Economic and Social Affairs Population Dynamics**. Disponível em: <<https://population.un.org/wpp/>>. Acesso em: 25 mar. 2020.

WIMS, C. M. *et al.* Effect of pregrazing herbage mass on methane production, dry matter intake, and milk production of grazing dairy cows during the mid-season period. **Journal of**

Dairy Science, v. 93, n. 10, p. 4976-4985, out. 2010. Disponível em:
<https://doi.org/10.3168/jds.2010-3245>.