

LEVANTAMENTO DE EMISSÕES E MITIGAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DA PECUÁRIA BOVINA NO ESPÍRITO SANTO

Mércia Regina Pereira de Figueiredo¹; Daiani Bernardo Pirovani²; Inacio de Barros³; Tiago de Oliveira Godinho⁴

Resumo – A busca pela sustentabilidade dos sistemas produtivos agropecuários está cada vez mais em evidência devido ao impacto ambiental das atividades agropecuárias e sua direta relação com as mudanças climáticas. Nesse contexto, é importante levantar informações a respeito da emissão e propor alternativas de mitigação dos gases de efeito estufa na pecuária bovina no Estado do Espírito Santo, de modo a garantir no médio e longo prazo a produção sustentável de produtos de origem animal para o atendimento da demanda atual e futura da sociedade. A produção de gases de efeito estufa contabilizados como dióxido de carbono equivalente alteram o balanço energético do planeta e interferem no clima. No setor agropecuário, a bovinocultura de corte e leite tem importante participação nesse cenário de forma que várias alternativas, como o manejo de pastagens, uso de sistemas integrados, melhora da qualidade da dieta oferecida aos animais, uso de aditivos, seleção de animais mais eficientes, dentre outros, podem mitigar esses gases. Para isso, é preciso haver incentivo à divulgação e ao fortalecimento de ações dos diversos segmentos da cadeia produtiva em união com políticas públicas governamentais para que o cenário atual seja modificado.

Palavras-chaves: Afolu. Carbono. Mudanças climáticas. Pecuária sustentável.

SURVEY OF EMISSIONS AND MITIGATION OF GREENHOUSE GASES FROM CATTLE FARMING IN ESPÍRITO SANTO

Abstract – The search for sustainability in agricultural production systems is becoming increasingly evident due to the environmental impact of agriculture and cattle-raising activities and their direct relationship with climate change. In this context, it is necessary to gather information on greenhouse gas emissions and mitigation alternatives in cattle ranching in the State of Espírito Santo to guarantee the sustainable production of animal products in the medium and long term so that society's current and future demands can be met. The production of greenhouse gases accounted for as carbon dioxide equivalent alters the planet's energy balance and affects the climate. In the agricultural sector, beef and dairy cattle farming play an important role in this scenario, and various alternatives such as pasture management, the use of integrated systems, the improvement of the quality of the diet offered to animals, the use of additives, the selection of more efficient animals, among others, can mitigate these gases. To do this, we need to encourage the dissemination and strengthening of actions by the various segments of the production chain in conjunction with government public policies so that the current scenario can be changed.

Keywords: Afolu. Carbon. Climate change. Sustainable livestock farming.

¹D.Sc. Nutrição Animal, Pesquisadora Incaper, mercia.figueiredo@incaper.es.gov.br

²D.Sc. Produção Vegetal, Professora Ifes Campus Alegre-ES

³D.Sc. Nutrição de Plantas, Pesquisador Embrapa

⁴D.Sc. Recursos Florestais, Engenheiro Florestal Vale

INTRODUÇÃO

Com o crescimento da população mundial, houve a necessidade de intensificar os sistemas produtivos frente ao aumento da demanda por alimentos e energia. Atreladas à necessidade de aumento de produtividade, uso sustentável dos recursos naturais e eficiência nas atividades ligadas à agropecuária crescem também as restrições para expansão sobre novas áreas para uso, além da demanda da sociedade por alimentos saudáveis e sustentáveis.

O setor agropecuário é, em sua maioria, vulnerável às mudanças do clima, e frente ao atual cenário de emissão de gases de efeito estufa (GEE), enfrentará importantes desafios relacionados à frequência e intensidade de eventos climáticos.

A pecuária bovina é uma atividade de grande importância econômica para o Brasil, tanto na produção de carne quanto de leite. O país que contou com um rebanho de 224,6 milhões de cabeças, em 2021, é o maior exportador de carne bovina mundial, destacando-se também como o segundo maior produtor desse tipo de carne no mundo (IBGE, 2021). Ainda de acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), na pecuária leiteira, 1,1 milhão de propriedades leiteiras produziram cerca de 35,4 bilhões de litros de leite em 2021. O produto interno bruto do setor agropecuário, que representa esses segmentos, foi de R\$ 439,84 bilhões em 2020 (IBGE, 2020). Mais de 80% da pecuária nacional é desenvolvida em pastagens em uma área de aproximadamente 150 milhões de hectares (ha) (MapBiomass, 2021).

No Estado do Espírito Santo (ES), o rebanho de bovinos, em 2022, foi de 2,2 milhões de cabeças, com 248 mil cabeças de vacas ordenhadas que produziram 392,4 milhões de litros de leite (IBGE, 2022). Apesar da reconhecida importância da agropecuária na produção de alimentos e geração de renda, atualmente, muito se discute sobre o impacto ambiental das atividades pecuárias e agrícolas, principalmente relativo às mudanças climáticas.

Os GEE são compostos que, em concentração elevada na atmosfera, têm o potencial de provocar efeitos adversos no clima. Os principais GEE são dióxido de carbono (CO_2), gás metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). Sabe-se que a

bovinocultura é uma atividade emissora majoritariamente de CH_4 , oriundo da fermentação entérica⁵ dos bovinos.

No ES, é importante compreender a origem dessas emissões em todos os setores, para que seja possível propor alternativas de mitigação a médio e longo prazo. Na literatura, as opções recomendadas para mitigação desses gases, na pecuária, envolvem o adequado manejo nutricional do rebanho, com a oferta de alimentos com melhor qualidade nutricional e uso de aditivos alimentares anti-metanogênicos; animais com maior potencial produtivo oriundos do melhoramento genético; sistemas integrados em suas variadas modalidades; dentre outros (Pickering *et al.*, 2015; Vaz *et al.*, 2020; Beauchemin *et al.*, 2022).

OBJETIVO

O presente trabalho objetiva apresentar informações a respeito da emissão e alternativas de mitigação dos GEE da pecuária bovina no ES a médio e longo prazo frente às mudanças climáticas, de modo a garantir a produção sustentável de produtos de origem animal à população atual e futura.

DESENVOLVIMENTO

INVENTÁRIOS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GEE

Os GEE emitidos pela agropecuária são oriundos da fermentação entérica animal, manejo de dejetos, queima de resíduos agrícolas, solos manejados e cultivo de arroz, principalmente, e são representados pelo CO_2 , CH_4 e N_2O . Esses gases possuem diferentes potenciais de influenciar mudanças no clima global quando estão presentes na atmosfera, pois interagem com a radiação solar em intensidades variadas.

Os GEE são computados conjuntamente, e, para isso, todos são convertidos para uma medida comum: o CO_2 equivalente ($\text{CO}_2\text{-eq}$). A conversão leva em consideração o

⁵ A fermentação entérica é uma parte natural do processo de digestão de animais ruminantes, tais como bovinos, caprinos, ovinos e búfalos, que ocorre no rúmen. Nesse processo, a microbiota ruminal, formada por bactérias, protozoários, fungos e *Archaea* metanogênicas, convertem os alimentos em ácidos graxos voláteis, principalmente os ácidos acético, propiônico e butírico, principal fonte de energia desses animais. Além disso, são produzidos a proteína microbiana, vitamina K e vitaminas do complexo B, CH_4 e CO_2 , que são eliminados representando uma perda de energia ao animal (Owens; Goetsch, 1993 *apud* Valadares Filho; Pina, 2011).

potencial de aquecimento global (GWP, na sigla em inglês) ou a capacidade de retenção de calor, no horizonte de 20 ou 100 anos (GWP20 ou GWP100), em relação à referência, que é o CO₂. Geralmente, para o Setor da Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (Afolu, em inglês)⁶, usa-se o GWP100.

Os GWP100 dos principais GEE da pecuária, de acordo com o IPCC (2006), são o CO₂, que, como referência, tem o GWP100 igual a unidade; o CH₄, que tem o GWP100 igual a 27; e o N₂O, que tem o GWP100 igual a 273, indicando que a capacidade de retenção de calor do CH₄ é 27 vezes maior do que o CO₂ e do N₂O é 273 vezes maior.

Para compreender a contribuição de cada atividade humana nas mudanças climáticas globais com a emissão de GEE, conta-se com duas bases de dados. Tratam-se do Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) e do Sistema de Registro Nacional de Emissões (Sirene). Ambas as plataformas se encontram disponíveis gratuitamente e serão descritas mais detalhadamente a seguir.

O SEEG é fruto de uma iniciativa do Observatório do Clima. As *Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa*⁷ são geradas segundo as diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), com base na metodologia dos Inventários de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases do Efeito Estufa, elaborado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), e em dados obtidos através de relatórios governamentais, institutos, centros de pesquisa, entidades setoriais e organizações não governamentais. Tal metodologia é apresentada oficialmente no meio científico por Azevedo *et al.* (2018), e a metodologia adotada para desenvolver os cálculos das estimativas de emissões e remoções de carbono (C) dos setores segue as Guias Metodológicas do IPCC (IPCC, 2006).

O relatório mais recente, disponibilizado pelo SEEG (10ª Edição), foi publicado em 2023 e se referiu às emissões dos setores correspondentes às atividades humanas, incluindo a agropecuária, no período de 1970 a 2021 (SEEG, 2023).

A segunda fonte de dados de emissões e remoções de GEE é o Sirene, desenvolvido pelo MCTI. Tal sistema foi instituído pelo governo brasileiro como instrumento

oficial para a disponibilização de resultados de emissões dos gases no país. A quinta edição do Relatório Anual de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, do Sirene, é referente ao ano de 2020, correspondendo às emissões por setores de 1970 a 2020 (MCTI, 2021). Porém, como o relatório do MCTI é atualizado a cada cinco anos, esse último relatório disponível apresenta os dados de uso da terra somente até 2016.

É importante destacar que os dados disponibilizados pelo Sirene apresentam maior base de informações, principalmente para o Setor de Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF). Assim, é possível consultar os estoques de C para cada fitofisionomia de cada bioma do Brasil.

Tanto SEEG quanto Sirene utilizam as diretrizes de cálculo de emissão, estoque e remoção de C desenvolvidas em formatos de guias, de acordo com o IPCC (2006).

EMISSÕES E REMOÇÕES DE GEE NA AGROPECUÁRIA

Segundo os dados de inventário de emissões e remoções de GEE do SEEG, no Brasil, em 2021, as emissões do setor agropecuário foram as mais altas da série histórica, totalizando 601 milhões de toneladas de CO₂-eq (GWP AR5), que representa um aumento de 3,8% em relação a 2020, quando foram registradas 579 milhões de toneladas. É importante ressaltar que, desde 1970, as emissões do setor agropecuário saltaram 182%.

Ao se considerar apenas o total de emissões brutas, os setores de Agropecuária e Mudança de Uso da Terra representam 74% das emissões, das quais 25% correspondem à agropecuária. No entanto, quando se leva em conta a remoção de C atmosférico, principalmente pelas florestas, esse último setor representa redução das emissões líquidas, principalmente em função do desmatamento seguido de queimadas, como também foi observado no relatório do MCTI (Figura 1).

Segundo levantamento mais recente (SEEG, 2023), a pecuária, em especial a fermentação entérica, foi a principal fonte de emissões de gases representando 79,4% do total, o que equivale a 477 milhões de toneladas de CO₂-eq. Além disso, foi, também, a principal causa do aumento registrado no setor. Em 2021, o rebanho bovino cresceu 3,1% no Brasil, em decorrência da permanência

⁶ Agriculture, Forestry and Other Land Use (Afolu).

⁷ Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC).

de fêmeas para a produção de bezerros, assim como pela queda do número de abates. Somados, os rebanhos bovi-

nos de corte e de leite respondem por 93% das emissões da pecuária ou 444 milhões de toneladas de CO₂-eq.

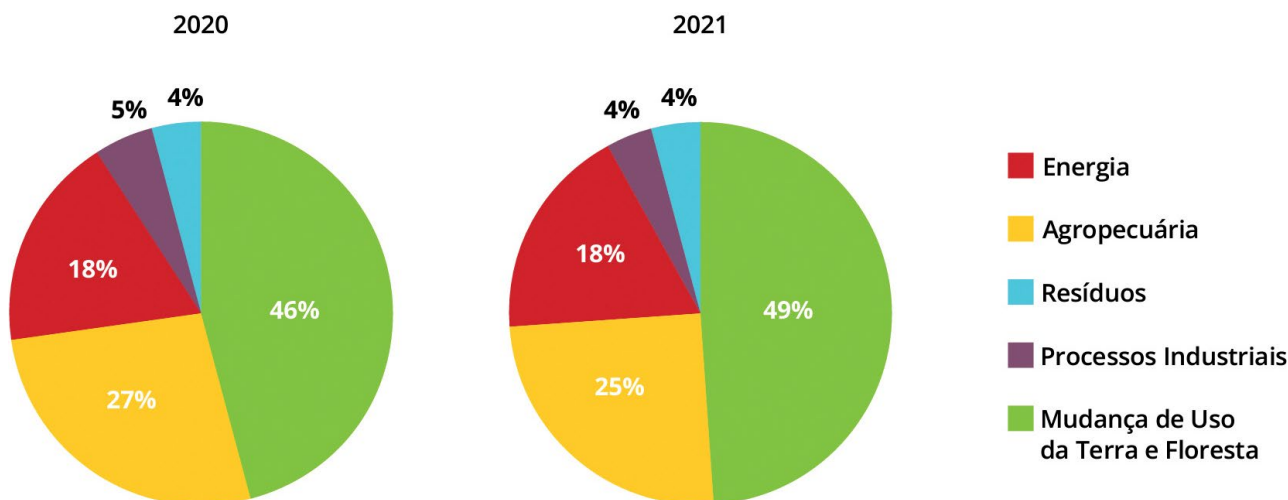


Figura 1 – Participação dos setores no perfil das emissões brasileiras em 2020 e 2021.

Fonte: SEEG (2023).

O ES, em 2016, apresentou 32.895 Gt de CO₂-eq em emissões líquidas, considerando também o sequestro (remoção) de cada atividade. É importante destacar que, desse total, 14,2% correspondem ao setor agropecuário (Tabela 1).

No entanto, desmembrando os subsetores, o setor agropecuário representa cerca de 63% dos GEE emitidos, em função da fermentação entérica, quase que a totalidade advinda da pecuária de corte, e aproximadamente 33% em função do manejo dos solos, ou seja, os dois subsetores são responsáveis por aproximadamente 95% da emissão bruta do ES (Tabela 2).

Tabela 1 – Dados de emissão líquida de CO₂-eq por setor para o ES, de acordo com o MCTI (2021)

SETOR	Emissão líquida	% no Espírito Santo	% no Brasil
Energia	15.194	46,2	28,9
IPPU*	11.641	35,4	6,4
Resíduos	1.316	4,0	4,5
Agropecuário	4.683	14,2	33,2
LULUCF*	61	0,2	27,1

Fonte: MCTI (2021).

Nota: IPPU – Emissões de Processos Industriais e Uso de Produtos; LULUCF – Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas.

Analisando os dados do SEEG para o ES no ano de 2020, a contribuição na emissão bruta do Setor Afolu foi de 30%, dos quais 18% pertencem ao setor agropecuário e 12% ao Setor de Mudança de Uso da Terra e Floresta.

Tabela 2 – Contribuições dos subsetores da agropecuária, em 2020, na emissão de GEE no ES, de acordo com dados do SEEG (2021)

Categoria	Emissão de CO ₂ -eq (toneladas)	Porcentagem
Fermentação entérica	3.494.923	63,34%
Solos manejados	1.808.437	32,77%
Manejo de desejos animais	210.902	3,82%
Queima de resíduos agrícolas	3.137	0,06%
Cultivo de arroz	510	0,01%
Total	5.517.909	100,00

Fonte: SEEG (2021).

Quando se considera o uso da terra, observa-se que, os subsetores Florestas Nativas e Florestas Plantadas são os

grandes sequestradores de CO₂ atmosférico. Dessa forma, ao se idealizar a neutralização das emissões de GEE na agropecuária, é imprescindível se considerar a adoção de sistemas integrados com florestas, priorizando tomadas de decisão que sejam pautadas na promoção de uma produção de baixas emissões.

Observa-se que a Pastagem Bem Manejada tem um grande potencial para fixar C, juntamente com Lavouras Cultivadas sob Sistema de Plantio Direto e Florestas Plantadas. Assim, ações para recuperação das áreas de pastagens e implantação de sistemas integrados são os caminhos para mitigação dos GEE na bovinocultura (Figura 2).

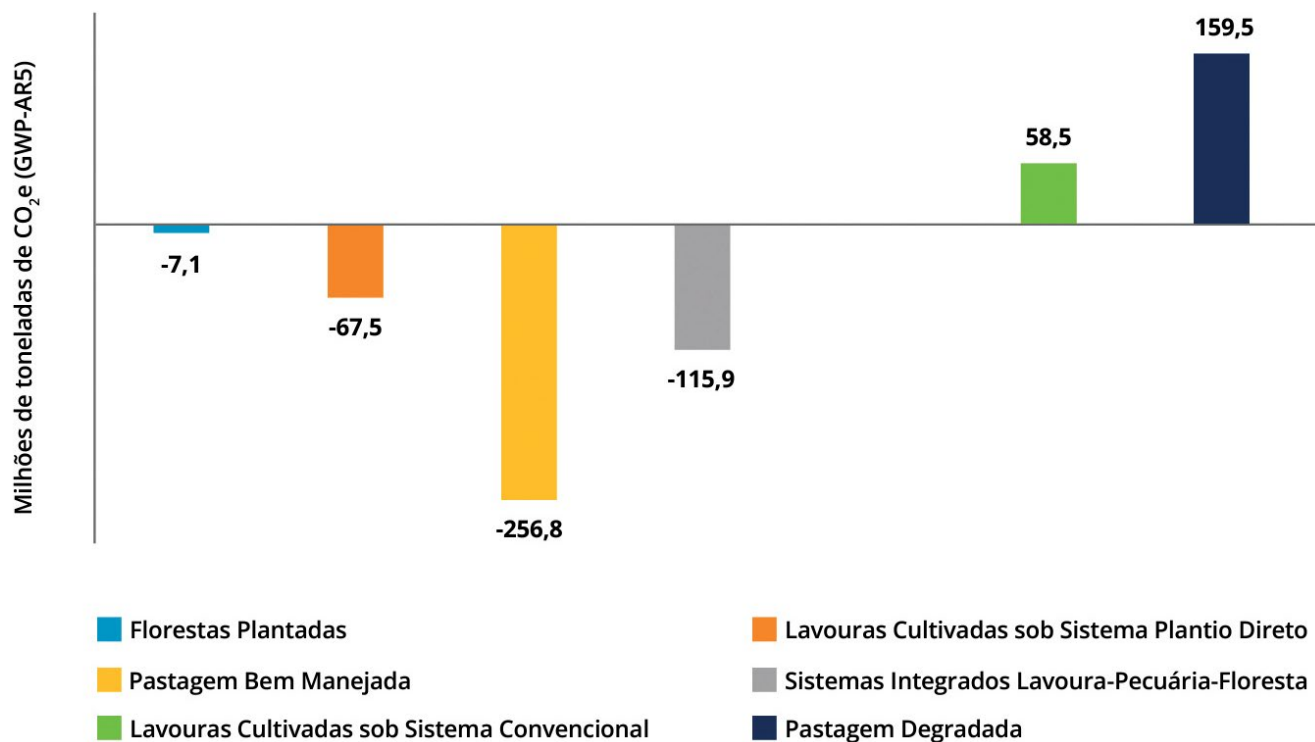


Figura 2 – Balanço de emissões de C pelo solo do setor agropecuário brasileiro em 2021.

Fonte: SEEG (2023).

Vale destacar que, no ES, iniciativas governamentais, como a elaboração do Plano Estadual de Mudanças Climáticas (que está em fase de elaboração) e o Plano ABC + do governo federal visam propor instrumentos para mitigação dos GEE nos setores (Energia, Transportes, Agropecuário, Mudança do Uso da Terra e Florestas, e Resíduos).

CICLO DO CARBONO

O C é o quarto elemento mais abundante do universo. Já na crosta terrestre, ele responde por cerca de 0,025% da massa de todos os elementos, destacando-se como o

décimo sétimo mais abundante (Haynes, 2016). Apesar de não ser um elemento abundante, o C é amplamente distribuído no planeta e a sua capacidade em formar compostos com outros elementos faz com que ele esteja presente na formação de minerais bastante comuns, como a magnesita, a dolomita, o mármore e o calcário. O C ocorre principalmente na forma de CO₂ no ar e na água, compostos orgânicos dos organismos vivos e da matéria orgânica e, também, de carbonato (CO₃⁻²) presente na água e nas rochas.

As quatro categorias de reservatórios de C de maior relevância na terra são: 1) **Litosfera**, que abarca as rochas

sedimentárias com C e os hidrocarbonetos, que são os combustíveis fósseis; 2) **Oceanos**, que contém quantidades substanciais de C, principalmente na forma inorgânica dissolvida em grandes profundidades e um menor volume que está presente próximo da superfície, onde tem trocas rápidas com a atmosfera; 3) **Ecossistemas terrestres**, que contém principalmente C orgânico na forma de plantas, animais e microrganismos; 4) **Atmosfera**, onde o C se encontra presente principalmente na forma de CO₂ e, em menor quantidade, de CH₄.

O ciclo do carbono é representado pelos fluxos existentes entre os diferentes reservatórios e apresenta dois componentes: o ciclo lento e o ciclo rápido. No ciclo lento, o C leva entre 100 milhões e 200 milhões de anos para fluir entre as rochas, solo, oceano e atmosfera por meio de processos geológicos, através de reações químicas e atividades tectônicas. Em média, de 10 Tg a 100 Tg (10⁹ Kg) de C se movem anualmente nesse ciclo.

O ciclo rápido, por sua vez, é aquele em que o fluxo do C entre os reservatórios pode ser medido no período de uma vida. Basicamente, o ciclo rápido corresponde ao movimento do C na biosfera, em que 1.000 Tg entre 100.000 Tg de C se movem anualmente entre os reservatórios. Os principais fluxos do ciclo rápido são: fotossíntese, respiração vegetal e animal, senescência, trocas entre o oceano e a atmosfera, consumo de combustíveis fósseis e mudanças de uso da terra.

O balanço de C tem mostrado um crescimento nas quantidades de C da atmosfera ao longo dos últimos séculos em virtude dos desbalanços nos ciclos do carbono, principalmente em função das atividades antropogênicas. Estima-se que anualmente são emitidos próximo de 50 petagrama (Pg = 10¹⁵g) de CO₂-eq em excesso e que a cada 3,7 exagrama (Eg = 10¹⁸g) de CO₂ incorporados na atmosfera a temperatura média aumente em 1,8 °C.

FORMAS DE EMISSÃO DE C NA PECUÁRIA

Segundo Gerber *et al.* (2013), os principais gases emitidos pelas cadeias produtivas da pecuária são o CH₄ (43,8% das emissões), o N₂O (29,3% das emissões) e o CO₂ (26,9% das emissões). Ainda de acordo com FAO (2016) e Grossi *et al.* (2019), as principais fontes de emissão de CH₄ são a fermentação entérica derivada da digestão dos ruminan-

tes (39,1%) e o manejo de dejetos (4,3%). As principais fontes de N₂O são provenientes do manejo de dejetos (5,2%), da deposição e aplicação de esterco (16,4%) e da adubação nitrogenada e decomposição dos restos culturais (7,7%). Já as principais fontes de CO₂ são o processamento (2,9%), uso de energia (1,8%) e a produção de alimentos (22,6%). Assim, das emissões totais das cadeias produtivas da pecuária, aquelas associadas aos processos para produção de alimentos dentro e fora da fazenda correspondem a 46,7%, a fermentação entérica a 39,1%, o manejo de dejetos a 9,7% e o uso de energia a 4,7%.

ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO DE C NA PECUÁRIA

O potencial de adoção de uma determinada estratégia de mitigação depende do sistema de produção, dos objetivos do produtor, do nível tecnológico e das condições regionais ou locais, incluindo políticas, incentivos e barreiras.

As estratégias de mitigação podem ser combinadas e, com isso, apresentar efeitos aditivos maiores. Muitas delas ainda são objetos de estudo em pesquisas, com as avaliações feitas, na maioria, em animais confinados, o que torna ainda mais complexas a medição de GEE e as avaliações com animais a pasto.

As práticas mitigatórias para reduzir as emissões de GEE na pecuária são variadas e devem focar em fatores, tais como:

Melhoria dos índices produtivos e reprodutivos: a intensificação dos sistemas de produção animal deve estar alinhada com a sustentabilidade, em que o aumento da produção de alimentos ocorrerá em menores áreas disponíveis para o plantio e com a utilização mais eficiente de insumos. Como formas indiretas de reduzir a produção de CH₄ entérico, tem-se o uso de diversas práticas de produção e reprodução, como a seleção de animais mais eficientes, manejo adequado da nutrição, promoção do bem-estar, sanidade, etc. que promovam o aumento da produtividade por animal e por área com grande potencial mitigatório, uma vez que, para uma mesma quantidade de produto comercializado, menos recursos serão utilizados e menos GEE serão emitidos reduzindo, assim, a intensidade de emissões.

A intensidade de emissão equivale aos quilogramas (kg) de CO₂-eq emitidos para produzir 1 kg de carcaça. Assim, à

medida que a produção do animal individual aumenta, a emissão de CH₄ com base no produto animal diminui (Beauchemin *et al.*, 2020; Beauchemin *et al.*, 2022). A adoção de sistemas de produção animal mais intensivos, como a terminação intensiva a pasto e confinamento, bem como o uso do melhoramento genético animal, reduzem a idade ao abate de animais de corte e antecipa a idade ao primeiro parto das fêmeas. Isso, por sua vez, contribui para a intensificação da produção de carne e leite gerando, dessa forma, emissão de CH₄ por quilograma de produto produzido até 30% menor, mesmo havendo um possível aumento nas emissões diárias de CH₄ (Berndt; Romero Solórzano; Sakamoto, 2013; Pickering *et al.*, 2015; Vaz *et al.*, 2020; Meo Filho *et al.*, 2022).

Entretanto, o aumento do consumo de ração e o uso de grãos são acompanhados pelo aumento das emissões de CO₂-eq e N₂O, provenientes do uso de combustíveis fósseis e fertilizantes nitrogenados na produção e fabricação de ração. Essas emissões também devem ser contabilizadas (Beauchemin *et al.*, 2022).

Redução da fermentação entérica: cerca de 95% do CH₄ produzido pelos animais ruminantes é emitido via eructação. Os 5% restantes são emitidos por meio da respiração e ânus (MCTI, 2020). O CH₄ produzido no rúmen é resultado da atividade da população de arqueas metanogênicas bem como de fungos e protozoários pertencentes ao domínio *Eukarya* (Oliveira *et al.*, 2016) que convertem hidrogênio (H₂) e CO₂ a CH₄ (Wallace *et al.*, 2014).

A taxa de produção de CH₄ no rúmen depende particularmente da composição da dieta, sendo o tipo de carboidrato (celulose ou amido), proteína e lipídios os componentes que mais influenciam. Além disso, fatores fisiológicos, como o tempo de retenção da digesta no rúmen e características genéticas do animal também têm um papel significativo nesse processo (Sene *et al.*, 2019; Ku-Vera *et al.*, 2020). A produção de CH₄ representa uma perda energética no processo de fermentação dos alimentos de cerca de 12% da energia bruta ingerida (RUSSELL, 2002; Oliveira *et al.*, 2016).

A manipulação da dieta atua diretamente sobre a fermentação e opções como o uso de aditivos

alimentares, muitos ainda em fase de pesquisa, como taninos, óleos essenciais, adição de óleos e gorduras saturadas e insaturadas, ionóforos, nitrato, leveduras e probióticos (Grainger; Beauchemin, 2011; Berndt; Romero Solórzano; Sakamoto, 2013) vêm sendo empregados como alternativas para redução da produção de CH₄ entérico. Esses compostos agem afetando arqueas metanogênicas diretamente ou indiretamente rompendo a membrana dos protozoários do rúmen (Ku-Vera *et al.*, 2020). O consumo e a digestibilidade da dieta ofertada ao rebanho influenciam na produção de CH₄ entérico. A emissão de CH₄ por unidade de matéria seca ingerida pode aumentar ou diminuir de acordo com o nível de ingestão, o que pode ser explicado por um maior *turnover* ruminal, levando a uma menor digestibilidade da massa ingerida. Assim, uma dieta balanceada, com alta digestibilidade, tem o potencial de reduzir substancialmente as emissões de CH₄ (Meo Filho *et al.*, 2022).

Com relação ao uso de concentrado na dieta de bovinos, Hristov *et al.* (2013) relataram que a inclusão de alimentos concentrados na dieta de ruminantes tem potencial para redução de CH₄ entérico, particularmente quando a inclusão estiver acima de 35% a 40% da matéria seca. Segundo Gerber *et al.* (2013), a manipulação da dieta e os aditivos alimentares foram identificados como os principais caminhos para a mitigação da produção entérica de CH₄. Estima-se que sua eficácia seja geralmente baixa considerando a média, mas pode ser substancialmente aumentada em termos de intensidade de emissão quando também resultam em maior eficiência alimentar e ganhos de produtividade.

Recuperação e manejo de pastagens: o manejo de pastagens, manutenção da fertilidade do solo por meio de calagem e adubação, ajuste da taxa de lotação, escolha adequada da espécie forrageira, dentre outras, são práticas essenciais para a manutenção de cobertura vegetal contínua e recuperação de pastagens degradadas, contribuindo para aumentar a quantidade de C armazenada no solo (Dias Filho, 2011; Oliveira *et al.*, 2020; Meo Filho *et al.*, 2022).

Enquanto as pastagens degradadas são as principais fontes de emissões do solo, as pastagens bem manejadas

são capazes de sequestrar quantidades de CO₂ (Almeida; Oliveira; Macedo, 2011; Rosendo; Rosa, 2012). Já Oliveira *et al.* (2020), avaliando a emissão de GEE em novilhos de corte em quatro sistemas de pastejo (pastagem irrigada com alta lotação, pastagem de sequeiro com alta taxa de lotação, pastagem de sequeiro com taxa de lotação média e pastagem degradada), observou que houve maior intensidade de emissão de GEE (kg CO₂-eq/kg carcaça) para a pastagem degradada. Além disso, esse sistema apresentou uma maior necessidade de árvores a serem plantadas para mitigar os GEE, quando expresso em kg PV e kg carcaça.

Segundo Beauchemin *et al.* (2022), em sistemas pastoris, a digestibilidade pode ser melhorada otimizando o manejo do pastejo para diminuir a maturidade da forragem, aumentando a digestibilidade da matéria seca e o consumo e melhorando o desempenho animal.

O uso de pastagens consorciadas com leguminosas ou uso de bancos de proteínas podem contribuir para melhorar o desempenho animal e diminuir a intensidade de produção de CH₄. A possibilidade de melhoria na dieta animal e a reciclagem de nutrientes resultam em maior produção por animal e por área. As leguminosas possuem maior teor de proteína bruta, melhor digestibilidade e menor teor de fibra do que as gramíneas tropicais, além de algumas possuírem compostos secundários, como taninos e saponinas, que têm ação sobre as metanogênicas. As leguminosas também têm potencial para aumentar o teor de nitrogênio no sistema solo/planta em ambiente consorciado com pastagem, fornecendo uma importante fonte de nitrogênio para as gramíneas e favorecendo o aumento da produtividade vegetal e animal, de forma a minimizar a emissão de CH₄ e N₂O, pois há redução de fertilizantes químicos nitrogenados (Ku-Vera *et al.*, 2020; Rodrigues; Oliveira; Berndt, 2021). Entretanto, dificuldades, como disponibilidade de cultivares, custo e lentidão do estabelecimento e persistência do consórcio sob pastejo podem inviabilizar a adoção das leguminosas nos sistemas de produção animal (Hristov *et al.*, 2013; Gerber *et al.*, 2013; Rodrigues; Oliveira; Berndt, 2021).

Manejo adequado de dejetos: os dejetos também contribuem para as emissões de CH₄ e de N₂O na pecuária. Segundo o IPCC (2006), 2% do nitrogênio presente na urina

de bovinos é emitido na forma de N₂O para a atmosfera. Assim, a implementação de práticas de manejo eficazes, como a evitar a utilização de lagoas abertas e favorecer a digestão anaeróbia, juntamente com o retorno frequente dos dejetos para as áreas de pastagens e produção de alimentos, resulta na redução das emissões de GEE pelo sistema. Segundo Gerber *et al.* (2013), as emissões de CH₄ do esterco podem ser controladas de forma eficaz reduzindo a duração do armazenamento, garantindo condições aeróbicas ou capturando o biogás emitido em condições anaeróbicas.

Uso racional de adubos nitrogenados: segundo o IPCC (2006), 1% do nitrogênio aplicado no solo é emitido para a atmosfera na forma de N₂O. Uma fração importante dos adubos nitrogenados, especialmente a ureia, que é aplicada nas pastagens e nas áreas de lavoura, emitem quantidades substanciais de N₂O, um gás com potencial de aquecimento global 273 vezes maior do que o CO₂. Assim, o uso racional de adubos nitrogenados, favorecendo fontes de nitrogênio que emitem menos N₂O, como organominerais, uso desses fertilizantes em momentos de maior demanda pelas pastagens e culturas, uso de fertilizantes de liberação controlada e inoculantes bacterianos, muitos desses sendo avaliados em pastagens e com resultados variados, podem ser considerados como potenciais colaboradores na redução das emissões de N₂O (Pereira *et al.*, 2009).

O uso de fertilizantes com alto teor de nitrogênio em pastagens pode aumentar a produção de forragem e sua digestibilidade, assim como o desempenho animal e, também, pode reduzir a produção de CH₄ entérico (Gerber *et al.*, 2013).

Uso de fontes renováveis de energia: apesar do Brasil possuir uma matriz energética mais limpa do que a média mundial, ainda existem ganhos que podem ser conquistados em termos de mitigação de GEE pelo meio de fontes renováveis de energia, como o uso de painéis solares ou de biodigestores, tanto para a geração de eletricidade quando para a produção do biometano que, potencialmente, pode ser usado como combustível na propriedade. Além disso, a ampliação no uso de biocombustíveis como o etanol e o biodiesel reduz as emissões diretas provocadas pela sua combustão, bem

como as indiretas, derivadas do processo de extração do petróleo, transporte, refino e produção do combustível.

Favorecimento da produção local de alimentos e o aproveitamento de subprodutos: no Brasil, uma fração importante da soja e do milho usados na produção animal é proveniente de áreas de fronteira agrícola e carregam consigo uma alta taxa de emissões de C derivada do desmatamento, que contribui para elevar a intensidade de emissões. Assim, a produção de alimentos para os animais dentro da propriedade e/ou a sua aquisição de áreas consolidadas (onde não ocorre desmatamento) reduz as emissões secundárias do sistema de produção. Além disso, subprodutos agroindustriais, como o resíduo úmido de cervejaria, a polpa cítrica, subprodutos das indústrias de milho e mandioca são alternativas de baixa intensidade de emissões que podem ser utilizadas na alimentação dos animais. Levando em consideração que é necessário aumentar a eficiência dos sistemas de produção animal, os subprodutos precisam ser incorporados em uma dieta balanceada de acordo com a categoria e produtividade animal, pois os ruminantes têm a capacidade de converter alimentos fibrosos inadequados para humanos em alimento de alto valor biológico como carne, leite, couro, etc. (Beauchemin *et al.*, 2022).

SISTEMAS AGROFLORESTAIS COMO OPÇÃO PARA A MITIGAÇÃO DE GEE E RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

O território capixaba está na área de ocorrência natural da Floresta Atlântica (Backes; Ircang, 2004), que originalmente cobria mais de 90% do seu território, enquanto o restante era ocupado por ecossistemas associados. Sucessivos ciclos econômicos foram reduzindo a floresta, transformando-a num conjunto de fragmentos (Lederman; Padovan, 2005). Segundo o MapBiomias (2021), o ES tem uma área de pastagens de 1,97 milhão de ha e, dessas pastagens, 21% encontram-se em estágio de degradação severa, representando mais de 410 mil ha. As áreas de pastagem com degradação moderada correspondem a 53% e aquelas sem degradação a 26%.

Segundo Martins (2009), a área degradada é aquela que, após sofrer um forte impacto em seus atributos

físicos, químicos ou biológicos, perdeu a capacidade de retornar naturalmente ao seu estado original ou a um equilíbrio dinâmico, ou seja, perdeu a sua resiliência. É uma área que não mais possui a capacidade de repor as perdas de matéria orgânica do solo, nutrientes, biomassa, banco de sementes, etc. A degradação de uma área pode ser resultado de diversas causas ou fatores. Complementarmente, Pires *et al.* (2018) definem área degradada onde há ocorrência de alterações negativas das propriedades físicas e químicas, devido a processos como a salinização, lixiviação, deposição ácida e a introdução de poluentes. Entretanto, Martins (2009) também destaca que, além da perda da capacidade de produção de alimentos, madeira e outros produtos e da perda ou redução drástica da biodiversidade, contaminação de cursos d'água e outros impactos ambientais, as áreas degradadas podem gerar também impactos visuais negativos que causam desconforto às pessoas (Figura 3).



Figura 3 – Pastagem degradada em Jerônimo Monteiro-ES – 09/08/2016.

Fonte: Acervo dos autores.

A recuperação de áreas degradadas tem por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano pré-estabelecido para o uso do solo, visando a obtenção de uma estabilidade do meio ambiente (Pires *et al.*, 2018). Existem muitos modelos de recuperação de áreas degradadas disponíveis, sendo que o resultado de cada um deles é influenciado pelas variáveis ambientais que podem interferir no comportamento das espécies em um determinado sítio ou modelo. Diante disso, e como o ES tem uma grande

variação edafoclimática, nenhum deles será considerado ideal para todos os casos. Para a escolha do melhor modelo a ser adotado, os produtores rurais, juntamente com o técnico, devem avaliar qual o objetivo da recuperação (ambiental, social, econômica ou então os três juntos) e os recursos disponíveis que serão utilizados.

Os SAF (sistemas agroflorestais) constituem um modelo de recuperação de áreas que engloba os três pilares da sustentabilidade: ambiental, social e econômico. Eles consistem em um sistema sustentado no manejo da terra, podendo ser classificados em silviagrícolas, quando abrangem somente o consórcio de espécies arbóreas e culturas agrícolas; silvipastoris, quando o consórcio é entre espécies arbóreas e animais; e agrosilvipastoris que envolvem o consórcio de espécies arbóreas, culturas agrícolas e animais. Silva (2013), considera os SAF como sistemas completos por produzirem em um único espaço frutos, vegetais, animais, leguminosas, hortaliças, ervas medicinais, madeiras, resinas, óleos, borrachas, dentre outras mercadorias agrícolas.

Diversos benefícios ambientais, em escala local e global, têm sido atribuídos aos SAF. Dentre esses benefícios, destacam-se a conservação do solo e dos recursos hídricos, a promoção do sequestro de C e o aumento da biodiversidade. No Brasil e no mundo, diversas experiências sobre a utilização de leguminosas nos diferentes SAF já foram relatadas, e um dos exemplos que tem mostrado resultados satisfatórios é a arborização de pastagens (Silva *et al.*, 2007). Além da melhoria dos atributos químicos e físicos do solo, a introdução do componente arbóreo nas pastagens proporciona ao animal maior conforto térmico por meio da disponibilidade de áreas sombreadas. Além disso, há interferência positiva na disponibilidade e valor nutritivo da forragem, além da geração de empregos, obtenção de produtos florestais madeireiros e/ou não madeireiros e serviços ambientais (Ribaski; Rakocevic, 2002).

A expansão dos sistemas silvipastoris, conduzida com base no planejamento integrado dos recursos da propriedade, pode atender, simultaneamente, aos objetivos de reduzir a pressão sobre a exploração das florestas nativas e viabilizar a recomposição de pastagens

degradadas no imóvel rural, obedecendo aos dispositivos do Código Florestal e legislações complementares.

CRÉDITOS DE CARBONO

Um crédito de carbono é a representação de uma tonelada de C que deixou de ser emitida para a atmosfera contribuindo para a diminuição do efeito estufa. Os certificados de redução de emissões são documentos que atestam que determinado projeto reduziu a emissão de GEE por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), emitidos por uma organização credenciada. O MDL foi criado no Protocolo de Quioto, em 1997, para ajudar os países a cumprirem as suas metas de redução de emissões (Maciel; Coelho; Santos, 2009).

Atualmente, o crédito é comercializado no mercado regulado ou voluntário de C, de forma que aqueles países que não alcançaram metas de redução de gases consigam compensar as emissões por meio da compra dos créditos no mercado de C. Embora ainda pouco explorado no Brasil, a tendência é de crescimento desse mercado em pouco tempo.

Os créditos de carbono são um incentivo aos produtores para que possam adequar seus sistemas produtivos em consonância com o desenvolvimento sustentável, em que a presença de árvores é primordial para mitigação ou neutralização dos GEE da bovinocultura, contribuindo para a melhoria de renda do produtor através da comercialização deles e a garantia de segurança alimentar para as futuras gerações. Sendo assim, esse mercado emergente tem avançado e em pouco tempo será uma realidade nas propriedades de leite e corte.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para impulsionar uma produção pecuária mais sustentável, ao mesmo tempo em que se busca reduzir a pressão por desmatamento para expansão de novas áreas de produção, de forma a contribuir com as metas climáticas e promover a remoção de C, é imprescindível fomentar a aplicação de boas práticas agropecuárias através da adoção de tecnologias de mitigação e adaptação.

Para tanto, é imperativo que haja inicialmente a conscientização e articulação dos órgãos municipais,

estaduais, setores produtivos e ONGs, para construção em conjunto e a implementação de políticas públicas que tornem efetiva a realização de ações reais de mitigação de GEE em todos os setores, mas especialmente na pecuária de corte e leite, que contribuem com a maior parte da emissão de gases dentro do setor agropecuário no ES, visando minimizar, neutralizar e gerar créditos de carbono nesses sistemas produtivos.

É necessário também o incentivo à pesquisa aplicada e ao desenvolvimento de inovações tecnológicas visando validar os dados de mitigação de GEE da bovinocultura no estado, dentro das particularidades locais, a exemplo de experiências já realizadas em outras condições de campo, pois os resultados são variáveis em função de fatores como raça e seus cruzamentos, manejo animal e da alimentação, uso de aditivos, dentre outros. E, por fim, promover a capacitação de técnicos e agentes públicos e privados em tecnologias disponíveis para mitigação de GEE na agropecuária bem como o acompanhamento das propriedades que fizerem o uso dessas tecnologias, para a obtenção de melhores resultados e para que a redução dos GEE ocorra de forma concreta.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

FIGUEIREDO, M. R. P. de. realizou o convite aos autores para elaborarem o texto; dividiu as partes a serem escritas por cada autor; definiu a estrutura, temas a serem abordados e título do artigo; escreveu a introdução, objetivos, parte da seção estratégias de mitigação de carbono na pecuária, crédito de carbono e conclusão; corrigiu as referências que faltavam; reduziu o tamanho do artigo para atender ao escopo da revista; e corrigiu o artigo após a avaliação dos consultores e, também, após a solicitação do Comitê Editorial da revista. PIROVANI, D. B. escreveu a parte do artigo referente aos inventários, ajudou na escolha do título e auxiliou na correção do artigo após avaliação dos consultores. BARROS, I. de. escreveu a parte relacionada ao ciclo do carbono, formas de emissão de carbono na pecuária e estratégias de mitigação da fermentação entérica. GODINHO, T. de O. escreveu a parte relativa aos sistemas agroflorestais como opção mitigação de GEE e para a recuperação de áreas degradadas.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. G. *et al.* Recuperação de pastagens degradadas e impactos da pecuária na emissão de gases de efeito estufa. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAGE BREEDING*, 3., nov. 2011, Bonito. **Anais [...]**. Bonito, MS: 2011.
- AZEVEDO, T. *et al.* SEEG initiative estimates of Brazilian greenhouse gas emissions from 1970 to 2015. **Sci Data**, v. 5, n. 180045, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.45>. Acesso em: 24 ago. 2022.
- BACKES, P.; IRCANG, B. **Mata Atlântica: as árvores e a paisagem**. Ed. Paisagem do Sul, 2004. 395 p.
- BEAUCHEMIN, K. A. *et al.* Cinquenta anos de pesquisa em metanogênese ruminal: lições aprendidas e desafios futuros para mitigação. **Animal**, v. 14, supl. 1, p. s2-s16, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731119003100>
- BEAUCHEMIN, K. A. *et al.* Invited review: current enteric methane mitigation Options. **Journal of Dairy Science**, v. 105, ed. 12, p. 9297-9326, 2022. ISSN 0022-0302. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22091>
- BERNDT, A.; ROMERO SOLÓRZANO, L. A.; SAKAMOTO, L. S. Pecuária de corte frente à emissão de gases de efeito estufa e estratégias diretas e indiretas para mitigar a emissão de metano. *In: SIMPÓSIO DE NUTRIÇÃO DE RUMINANTES*, 6., Nutrição de precisão para sistemas intensivos de produção de carne: alto desempenho e baixo impacto ambiental. **Anais [...]**. Botucatu: UNESP, 2013. p. 3-15.
- DIAS FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4. ed. rev. atual. e ampl. Belém, PA: 2011. 215 p.
- FAO, (Food and Agriculture Organization of The United Nations). **Livestock & climate change**. Itália, Roma: FAO, 2016. 15 p. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i6345e/i6345e.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2022.
- GERBER, P. J. *et al.* Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. **Animal**, v. 7, supl. 2, p. 2020-234, 2013. ISSN 1751-7311. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731113000876>
- GRAINGER, C.; BEAUCHEMIN, K. A. Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production? **Animal Feed Science and Technology**, v. 166-167, p. 308-320, 2011.
- GROSSI, G. *et al.* Livestock and climate change: impact of livestock on climate and mitigation strategies. **Animal Frontiers**, v. 9, n. 1, p. 69-76, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/af/vfy034>. Acesso em: 23 ago. 2022.
- HAYNES, W. M. Abundance of elements in the earth's crust and in the sea. **CRC Handbook of Chemistry and Physics**, ed. 97, p. 14-17, 2016.

- HRISTOV, A. N. *et al.* Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation Options. **Journal of Animal Science**, v. 91, ed. 11, p. 5095–5113, nov. 2013.
- HEYLER, K. *et al.* Reducing dietary protein decreased the ammonia emitting potential of manure from commercial dairy farms. **Journal of Dairy Science**, 95 (Suppl. 2), 477.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Indicadores IBGE: Contas nacionais trimestrais; Indicadores de volume e valores correntes out.-dez. 2020.** Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: https://ftp.ibge.gov.br/Contas_Nacionais/Contas_Nacionais_Trimestrais/Fasciculo_Indicadores_IBGE/2020/pib-vol-val_202004caderno.pdf. Acesso em: 9 out. 2023.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Produção da pecuária municipal 2021.** Rio de Janeiro: IBGE, 2021 Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2021_v49_br_informativo.pdf. Acesso em: 29 maio 2023.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Pesquisa da pecuária municipal 2022.** Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=resultados>. Acesso em: 9 out. 2023.
- IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas). Emissions from Livestock and Manure Management. In: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. **Agriculture, Forestry and Other land use**, v. 4, 2006. In: EGGLESTON H. S. *et al.* (ed.). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006. Japão: IGES, 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>. Acesso em: 21 ago. 2022.
- KU-VERA, J. C. *et al.* Role of secondary plant metabolites on enteric methane mitigation in ruminants. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 7, p. 584, 2020.
- LEDERMAN, M. R.; PADOVAN, M. P. **Conservação da Mata Atlântica no Estado do Espírito Santo: cobertura florestal e unidades de conservação.** Vitória: IPEMA, 2005. 142 p.
- MACIEL, C. V.; COELHO, A. R. G.; SANTOS, A. M. Crédito de carbono: comercialização e contabilização a partir de projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo. **Revista de Informação Contábil**, v. 3, n. 1, p. 89–112, 2009.
- MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomas – Coleção 7.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil.** MapBiomas, 2021. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org>. Acesso em: 28 abr. 2023.
- MARTINS, S. V. **Recuperação de áreas degradadas: ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração.** Viçosa: Aprenda Fácil, 2009. 270 p.
- MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações). **Quarto inventário nacional de emissões e remoção antrópicas de gases de efeito estufa.** Brasília, 2020. 143 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>. Acesso em: 29 jun. 2023.
- MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações). **Resultados do Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa por Unidade Federativa.** Brasília: 2021. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/estimativas-anuais-de-emissoes-gee/arquivos/livro_digital_5ed_estimativas_anuais.pdf. Acesso em: 24 ago. 2022.
- MEO FILHO, P. *et al.* Sistemas intensificados de pastagem podem reduzir as emissões de metano entérico de bovinos de corte no Bioma Mata Atlântica? **Agronomy**, n. 12, p. 2738, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12112738>
- SEEG (Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa). OC – Observatório do Clima, Sistema de Estimativa de Emissão de Gases do Efeito Estufa – **SEEG**, 2021. Disponível em: <https://seeg.eco.br/>. Acesso em: 24 ago. 2022.
- SEEG (Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa). OC – Observatório do Clima, Sistema de Estimativa de Emissão de Gases do Efeito Estufa – **SEEG**, 2023. Disponível em: <https://seeg.eco.br/>. Acesso em: 29 abr. 2023.
- OLIVEIRA, V. S. *et al.* Carboidratos fibrosos e não fibrosos na dieta de ruminantes e seus efeitos sobre a microbiota ruminal. **Vet. Not.**, Uberlândia, v. 22, n. 2, p. 1-19, jul/dez. 2016.
- OLIVEIRA, P. P. A.; *et al.* Greenhouse gas balance and carbon footprint of pasture-based beef cattle production systems in the tropical region (Atlantic Forest biome). **Animal**, v. 14, supl. 3, p. s427–s437, 2020.
- PEREIRA, H. S. *et al.* Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 33, p. 1685–1694, 2009.
- PIRES, P. de T. *et al.* **Dicionário de termos florestais.** Curitiba: FUPEF, 2018. 102 p.
- PICKERING, N. K. *et al.* Genetic parameters for predicted methane production and laser methane detector measurements. **Journal of Animal Science**, v. 93, p. 11–20, 2015.
- RIBASKI, J.; RAKOCEVIC, M. Disponibilidade e qualidade da forragem de braquiária (*Brachyaria bryzantha*) em um sistema silvipastoril com eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) no Noroeste do Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 4., 2002, Ilhéus. **Anais [...]**. Ilhéus: CEPLAC, 2002. CD-ROM.
- RODRIGUES, P. H. M.; OLIVEIRA, P. P. A.; BERNDT, A. Uso de leguminosas na dieta de ruminantes: adaptação às mudanças climáticas e mitigação da emissão de gases de efeito estufa. In: **Novos desafios da pesquisa em nutrição e produção animal.** Pirassununga: 5D Editora, 2021. p.182–205.
- ROSENDO, J. S.; ROSA, R. Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de Cerrado. **Soc. & Nat.**, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 359–376, 2012.
- RUSSELL, J. B. **Rumen microbiology and its role in ruminant nutrition.** Ithaca, NY: Cornell University Press, 2002. p. 121.

SENE, G. A. de *et al.* Práticas estratégicas com vistas à mitigação dos gases do efeito estufa na produção de bovinos a pasto. *In: RODRIGUES, P.; MAZZA, H. Novos desafios da pesquisa em nutrição e produção animal.* São Paulo: Editora 5D, 2019. p. 268–294. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/337325398_Novos_Desafios_da_Pesquisa_em_Nutricao_e_Producao_Animal/link/5dd2830ea6fdcc7e138a8e46/download. Acesso em: 25 mar. 2022.

SILVA, G. T. A. *et al.* **O papel da fixação biológica de nitrogênio na sustentabilidade de sistemas agroflorestais.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 36 p.

SILVA, D. P. da. SAF's: sistemas alternativos de produção. **Revista de Extensão e Estudos Rurais**, v. 2, p. 153–162, 2013.

VALADARES FILHO, S. C.; PINA, D. S. Fermentação ruminal. *In: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. Nutrição de ruminantes.* 2º ed. Jaboticabal, SP: Funep, 2011. cap. 6.

VAZ, R. Z. *et al.* Performance of calves born in different periods of the calving season in intensive beef cattle farming *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v. 72, n. 5, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-11883>. Acesso em: 29 maio 2023.

WALLACE, R. J. *et al.* Archaeal abundance in post-mortem ruminal digesta may help predict methane emissions from beef cattle. **Scientific Reports**, v. 4, p. 1–8, 2014.