

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**LETÍCIA TEIXEIRA FERREIRA**

**Emissões de gases de efeito estufa (GEE) na Bovinocultura Leiteira: Avaliação em uma  
Propriedade Rural de Senador Cortes – MG**

**JUIZ DE FORA – MG**

**2024**

**LETÍCIA TEIXEIRA FERREIRA**

**Emissões de gases de efeito estufa (GEE) na Bovinocultura Leiteira: Avaliação em uma  
Propriedade Rural de Senador Cortes – MG**

Trabalho Final de Curso apresentado ao  
Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental  
e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de  
Fora, como requisito parcial à obtenção do  
título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

Área de concentração: Engenharia Ambiental

Linha de pesquisa: Mudanças climáticas

Orientador: D.Sc. Jonathas Batista Gonçalves Silva

Coorientador: D.Sc. Aline Sarmiento Procópio

**JUIZ DE FORA – MG**

2024

**LETÍCIA TEIXEIRA FERREIRA**

**Emissões de gases de efeito estufa (GEE) na Bovinocultura Leiteira: Avaliação em uma Propriedade Rural de Senador Cortes – MG**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

Aprovado em 29 de outubro de 2024.

**BANCA EXAMINADORA**

D.Sc. Jonathas Batista Gonçalves Silva – Orientador  
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr. Fabio de Oliveira Sanches  
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr. Otávio Eurico de Aquino Branco  
Universidade Federal de Juiz de Fora



## RESUMO

A agricultura familiar desempenha um papel crucial na oferta de alimentos e na economia rural brasileira. No contexto das emissões de gases de efeito estufa (GEE), tanto as da agricultura quanto as da pecuária são significativas, gerando emissões através de processos como fermentação entérica em ruminantes, manejo de dejetos animais, cultivo de arroz inundado, queima de resíduos agrícolas e uso de fertilizantes nitrogenados. A quantificação destas emissões é fundamental para adoção de estratégias de redução de GEE na agricultura familiar, contribuindo para adaptações climáticas que abordam manejo de dejetos e criação de gado. Este estudo teve como objetivo estimar as emissões de GEE, como metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), em uma propriedade de bovinocultura leiteira em Senador Cortes, MG, incluindo a caracterização das atividades pecuárias, focando na fermentação entérica e nas emissões de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  pelo manejo de dejetos. Adicionalmente realizou-se uma comparação destas emissões com dados de Minas Gerais e Brasil, identificou-se a principal fonte de emissão na propriedade, e sugeriu-se práticas sustentáveis para a criação de gado leiteiro. A metodologia adotada integra diretrizes do IPCC e métodos da EMBRAPA para análise das emissões. Resultados indicaram que vacas leiteiras em pasto são os maiores emissores, seguidas por fêmeas lactantes confinadas. Novilhas confinadas, devido ao crescimento rápido, têm maior fator de emissão comparado às criadas a pasto. Gados leiteiros confinados e jovens a pasto juntos representam 65% das emissões totais de metano na propriedade, enquanto o gado a pasto é responsável por 55% das emissões desse gás. As emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  de adultos lactantes confinados e jovens criados a pasto foram de 73,18 e 44,43 Kg  $\text{N}_2\text{O}$ /ano, respectivamente. O manejo de esterco contribui significativamente para as emissões indiretas de  $\text{N}_2\text{O}$ , sendo quatro vezes maiores em adultos confinados comparados aos que estão a pasto, e três vezes maiores entre os jovens criados a pasto em relação aos confinados. Gado confinado são responsáveis por 52% das emissões totais de  $\text{N}_2\text{O}$  lixiviado na propriedade. Em comparação com inventários anteriores da EMBRAPA, as estimativas para fermentação entérica e óxido nitroso divergem significativamente, destacando a necessidade de priorizar adaptações e mitigação no manejo de dejetos. Este estudo destaca a importância de práticas sustentáveis na pecuária para reduzir emissões de GEE, adaptando-se às realidades das pequenas propriedades rurais brasileiras.

**Palavras-chave:** Emissões de gases de efeito estufa. Bovinocultura leiteira. Agricultura familiar.

## ABSTRACT

Family farming plays a crucial role in the food supply and the Brazilian rural economy. In the context of greenhouse gas (GHG) emissions, agriculture and livestock farming are significant, generating emissions through processes such as enteric fermentation in ruminants, animal manure management, flooded rice cultivation, burning of agricultural residues, and the use of nitrogen fertilizers. These emissions are fundamental for GHG reduction strategies in family farming, contributing to climate adaptations that address manure management and livestock farming. This study aims to estimate GHG emissions, such as methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), on a dairy cattle farm in Senador Cortes, MG, including the characterization of livestock activities, focusing on enteric fermentation and CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from manure management, comparison of emissions with data from Minas Gerais and Brazil, identification of the main emission source on the farm, and suggestions of sustainable practices for dairy cattle farming. The methodology adopted integrates IPCC guidelines and EMBRAPA methods for analyzing emissions. Results indicate that dairy cows on pasture are the largest emitters, followed by confined lactating females. Confined young cattle, due to their rapid growth, have a higher emission factor compared to those raised on pasture. Confined dairy cattle and pasture-raised young cattle together account for 65% of total methane emissions on the farm, while pasture-raised cattle are responsible for 55% of emissions of this gas. N<sub>2</sub>O emissions from confined lactating adults and pasture-raised young cattle were 73.18 and 44.43 kg N<sub>2</sub>O/year, respectively. Manure management contributes significantly to indirect N<sub>2</sub>O emissions, being four times higher in confined adults compared to those on pasture, and three times higher among pasture-raised young cattle compared to those on pasture. Cattle in confinement are responsible for 52% of total emissions of N<sub>2</sub>O leached on the farm. Compared to previous EMBRAPA inventories, estimates for enteric fermentation and nitrous oxide diverge significantly, highlighting the need to prioritize adaptations and mitigation in manure management. This study highlights the importance of sustainable practices in livestock farming to reduce GHG emissions, adapting to the realities of small Brazilian rural properties.

**Keywords:** Greenhouse gas emissions. Dairy farming. Family farming.

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> - Mapa de localização da propriedade de estudo .....	23
<b>Figura 2</b> -Mapa de caracterização espacial das construções.....	25
<b>Figura 3</b> - (a) Manejo do esterco sólido em pilhas, (b) Lagoa de decantação.....	26
<b>Figura 4</b> - (a) Cano de coleta de efluente, (b) Efluente líquido.....	26
<b>Figura 5</b> - Fator de emissão de fermentação entérica (kg CH <sub>4</sub> /cabeça/ano).....	35
<b>Figura 6</b> - Porcentagem de emissões entéricas por tipo de animal e sistema. ....	36
<b>Figura 7</b> - Porcentagem de contribuição na emissão de CH <sub>4</sub> entérico por tipo de sistema de produção. ....	37
<b>Figura 8</b> - Porcentagem de emissões de CH <sub>4</sub> do manejo de dejetos por tipo de animal e sistema. ....	39
<b>Figura 9</b> - Contribuição de emissão N <sub>2</sub> O no tratamento de dejetos por tipo de sistema e animal. ....	42
<b>Figura 10</b> - Contribuição emissões N <sub>2</sub> O direto por tipo de sistema e animal.....	44
<b>Figura 11</b> - Contribuição emissões N <sub>2</sub> O volátil emitido por tipo de sistema e animal. ....	45
<b>Figura 12</b> - Contribuição emissões N <sub>2</sub> O lixiviado emitido por tipo de manejo. ....	46
<b>Figura 13</b> - Benefícios do uso de biodigestor.....	49
<b>Figura 14</b> - Esquematização ILPF e seus benefícios.....	50

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Distribuição do gado na propriedade.....	24
<b>Tabela 2</b> - Sumário de parâmetros utilizados. ....	27
<b>Tabela 3</b> - Formulário de equações para o cálculo da fermentação entérica. ....	28
<b>Tabela 4</b> - Formulário de equações para o cálculo CH <sub>4</sub> – Dejetos bovinos. ....	31
<b>Tabela 5</b> - Sumário de parâmetros utilizados para emissões de N <sub>2</sub> O. ....	31
<b>Tabela 6</b> - Formulário de equações para o cálculo N <sub>2</sub> O – Dejetos bovinos.....	33
<b>Tabela 7</b> - Resultados de emissões GEE proveniente da fermentação entérica. ....	33
<b>Tabela 8</b> - Resultados de emissões GEE proveniente do manejo de dejetos.....	38
<b>Tabela 9</b> - Emissões de N <sub>2</sub> O indireto proveniente do manejo de dejetos.....	40

## LISTA DE SÍMBOLOS

$E$  = Emissão total anual (Gg.  $\text{CH}_4$ .ano<sup>-1</sup>)

$EF_{(T)}$  = Fator de emissão para população pecuária definida, kg. $\text{CH}_4$ .cabeça<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>;

$N_{(T)}$  = Número de cabeças da espécie pecuária/categoria animal T no país;

$GE$  = Ingestão de energia bruta, MJ.cabeça<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>;

$NE_m$  = Requerimento de energia líquida para a manutenção animal, MJ.dia<sup>-1</sup>;

$NE_a$  = Energia líquida para atividade animal, MJ.dia<sup>-1</sup>;

$NE_l$  = Energia líquida para lactação, MJ.dia<sup>-1</sup>;

$NE_p$  = Requerimento de energia líquida para gestação, MJ.dia<sup>-1</sup>;

$NE_g$  = Energia líquida necessária para crescimento, MJ.dia<sup>-1</sup>;

$REM$  = Taxa de energia líquida utilizada para a manutenção, % da energia digestível;

$REG$  = Taxa de energia líquida utilizada para o crescimento, % da energia digestível;

$W$  = Peso vivo do animal, kg;

$DE$  = Energia digestível, % da energia bruta;

$EF_{ik}$  = Fator de emissão de  $\text{CH}_4$  pela gestão do esterco (Kg  $\text{CH}_4$ .dia/m<sup>3</sup> $\text{CH}_4$ .ano);

$VS_i$  = Excreção diária média de sólidos voláteis (Kg de matéria seca/dia);

$Boi$  = Capacidade máxima de produção de metano do esterco produzido pelo gado da categoria T, m<sup>3</sup>  $\text{CH}_4$  kg<sup>-1</sup> de VS excretados;

$MCF_{jk}$  = Fatores de conversão de metano para cada sistema de manejo de esterco S por região climática k, %;

$MS$  = Fração do esterco do gado da categoria T manejada usando o sistema de manejo de resíduos S na região climática k, adimensional;

$ASH_i$  = Fração do conteúdo de cinzas nos dejetos produzidos pelo animal do tipo i (%).;

$N_{2O_{D(mm)}}$  = Emissões Diretas de  $\text{N}_2\text{O}$  provenientes da Gestão do Esterco (Kg.N.animal<sup>-1</sup>. dia<sup>-1</sup>);

$N_{ex_t}$  = Excreção anual média de nitrogênio por cabeça da espécie/categoria T no país, (Kg.N.animal<sup>-1</sup>. dia<sup>-1</sup>);

$EF3(s)$  = Fator de emissão para emissões diretas de  $\text{N}_2\text{O}$  do sistema de manejo de esterco S no país, kg  $\text{N}_2\text{O}$  -N/kg N no sistema de manejo de esterco S;

$N_{volátil(MMS)}$  = Emissões indiretas de  $\text{N}_2\text{O}$  provenientes da gestão do esterco se referem às perdas de nitrogênio devido à volatilização durante o manejo do esterco (Kg.N.animal<sup>-1</sup>. dia<sup>-1</sup>);

$FracgasMS$  = Percentagem de nitrogênio do esterco gerenciado para a categoria de gado T que volatiliza como  $\text{NH}_3$  e  $\text{NO}_x$  no sistema de manejo de esterco S, %;

$N_2O_{G(mm)}$  = Emissões indiretas de  $N_2O$  devido à volatilização de N na gestão do esterco ( $Kg.N.animal^{-1}.dia^{-1}$ );

$EF_4$  = Fator de emissão para emissões de  $N_2O$  resultantes da deposição atmosférica de nitrogênio na superfície do solo ou da água,  $kg N_2O -N (kg NH_3-N + NO_x-N volatilizado)^{-1}$ ;

$N_{(lixiviação)(MMS)}$  = Perdas de N por lixiviação e escoamento na gestão do esterco ( $Kg.N.animal^{-1}.dia^{-1}$ );

$FracleiteMS$  = Fração de nitrogênio do esterco que lixivia dos sistemas de manejo de esterco, adimensional;

$N_2O_{L(mm)}$  = Emissões indiretas de  $N_2O$  resultantes da lixiviação e do escoamento na gestão de esterco ( $Kg.N.animal^{-1}.dia^{-1}$ );

$EF_5$  = Fator de emissão para emissões de  $N_2O$  por lixiviação e escoamento de nitrogênio,  $kg N_2O-N/kg N$  lixiviado;

$N_2O_{D(mm)}$  = emissões diretas de  $N_2O$  provenientes da gestão de estrume no país,  $kg.N_2O.ano^{-1}$ ;

$N_{ex(T,P)}$  = excreção média anual de N por cabeça de espécie/categoria T no país, para o sistema de produtividade P, quando aplicável em ( $Kg.N.animal^{-1}.dia^{-1}$ );

$N_{cdg(S)}$  = aporte anual de nitrogênio via co-digestão no país,  $kg.N.ano^{-1}$ ;

$AWMS_{(T,S,P)}$  = fracção da excreção total anual de azoto para cada espécie/categoria pecuária T que é gerida no sistema de gestão de estrume S no país, adimensional;

$EF_{3(S)}$  = fator de emissão para emissões diretas de  $N_2O$  do sistema de gestão de dejetos S no país,  $kg.N_2O-N/kg.N$  no sistema de gestão de dejetos S;

S = sistema de gestão de estrume;

## SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	12
1. INTRODUÇÃO .....	13
2. OBJETIVO.....	15
2.1. Objetivos Específicos .....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1. Marcos Legais e Programas Relacionados às Mudanças Climáticas .....	16
3.2. Base Metodológica .....	19
3.3. Mudanças Climáticas e Agropecuária .....	20
3.4. Fermentação Entérica .....	20
3.5. Emissões de CH <sub>4</sub> - Manejo de Dejetos de Animais.....	21
3.6. Emissões de N <sub>2</sub> O - Manejo de Dejetos de Animais.....	21
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	23
4.1. Caracterização da Propriedade.....	23
4.2. Modelos matemáticos para cálculo das Emissões de GEE.....	27
4.2.1. Modelo de emissões de Metano provenientes da fermentação entérica.....	28
4.2.2. Modelo de emissões de Metano provenientes do manejo de dejetos .....	30
4.2.3. Modelo de emissões de Óxido Nítrico provenientes do manejo de dejetos .....	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	33
5.1. Emissões de CH <sub>4</sub> - Fermentação entérica .....	33
5.2. Emissões de CH <sub>4</sub> – Manejo de dejetos .....	38
5.3. Emissões de N <sub>2</sub> O - Manejo de dejetos.....	40
5.4. Tecnologias para mitigação das emissões de GEE associada à bovinocultura leiteira	47
6. CONCLUSÃO .....	51
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>52</b>

## **APRESENTAÇÃO**

O Presente trabalho foi elaborado e avaliado no formato de monografia, de acordo com as normas definidas na Resolução nº14/2019 do Colegiado do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da UFJF, como pré-requisito para aprovação na disciplina Trabalho Final de Curso II (ESA098).

## 1. INTRODUÇÃO

Em 2022, o Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio brasileiro representou 24,8% da economia do país, conforme relatório divulgado pela Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2023). Vale destacar que a receita gerada pelo setor da agricultura não se limita apenas aos grandes produtores, pois a agricultura familiar também desempenha um papel significativo na produção pecuária nacional, conforme indicado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2016).

Dados de Neto (2020) mostram que, entre 2016 e 2017, a agricultura familiar foi responsável por uma parte considerável da produção nacional de animais, contribuindo com 31% dos bovinos, 45,5% das aves, 51,4% dos suínos e 70,2% dos caprinos. No que se refere a rebanhos de vacas ordenhadas, o Brasil apresenta o segundo maior rebanho do mundo, sendo que Minas Gerais lidera tanto na produção de leite quanto no número de cabeças de gado, com mais de 3,1 milhões de vacas ordenhadas em 2018 (Rocha, 2020). Esses números ressaltam a importância desse segmento na oferta de alimentos e na economia rural.

No Brasil, a agricultura familiar ocupa uma extensa área de terra, abrangendo 80,9 milhões de hectares, o que equivale a 23% da área total dos estabelecimentos agropecuários do país, conforme revelado pelo Censo Agropecuário de 2017, que analisou mais de 5 milhões de propriedades rurais em todo o território nacional. Do total dessas propriedades, 77% são classificadas como agricultura familiar (IBGE, 2017).

A agricultura familiar é composta por pequenos e médios empreendimentos administrados por famílias, que dependem da pecuária e da agricultura para sua subsistência, conforme definido pelo Decreto 9.064/2017. Além disso, conforme destacado no Ministério da Agricultura Pesca e Abastecimento – MAPA (2020), a agricultura familiar e a agricultura empresarial respondem por cerca de 37% dos postos de trabalho no país e representam 25% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional.

As atividades agropecuárias têm uma contribuição significativa para a emissão de gases de efeito estufa, como metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), resultantes da digestão de animais e do uso de fertilizantes nitrogenados (Manzatto et. al., 2018; Besen et. al., 2018). Esses gases, juntamente com o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), contribuem para o aquecimento global e as mudanças climáticas, sendo intensificados pelas atividades humanas, incluindo a agricultura

(MCTI, 2021). É importante ressaltar também que a agropecuária enfrentará os impactos das mudanças climáticas e desempenhará um papel crucial na redução das emissões de GEE, como destacado por Madari et. al. (2018).

No que diz respeito às emissões de gases de efeito estufa (GEE), a agricultura e a pecuária desempenham um papel significativo no Brasil. Essas atividades geram emissões por diversos processos, como a fermentação entérica dos ruminantes, a produção de dejetos animais, o cultivo de arroz inundado, a queima de resíduos agrícolas e a emissão de óxido nitroso no solo pelo uso de fertilizantes nitrogenados e dejetos animais (MCTI, 2022).

A expansão contínua das áreas destinadas à agricultura e pastagens resultou na conversão de florestas naturais, tornando a mudança no uso da terra a principal causa das emissões de GEE estufa no Brasil, o que representa uma das preocupações ambientais mais significativas relacionadas à atividade agropecuária (MCTI, 2022).

De acordo com Potenza et. al. (2023), a pecuária, especialmente devido à fermentação entérica do gado, é a principal fonte de emissões de GEE no Brasil, correspondendo a 79,4% do total. Em 2021, os rebanhos de corte e de leite foram responsáveis por 93% das emissões da pecuária, totalizando 444 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e).

Em Minas Gerais, as emissões relacionadas ao setor agropecuário totalizaram 108.309 Gg CO<sub>2</sub>e em 2016, com a contribuição da pecuária representando 45% desse total. Estima-se que a fermentação entérica seja responsável por 56% das emissões do estado. Essas emissões do estado de Minas Gerais representaram 7% das emissões nacionais e 28% da Região Sudeste em 2016 (MCTI, 2022).

Diante deste cenário e em consonância com o Acordo de Paris, assinado em 2015 (UNFCCC, 2015), é crucial promover formas sustentáveis de agricultura, levando em consideração os desafios impostos pelas mudanças climáticas. Medidas para limitar e reduzir as emissões de GEE como o metano devem ser implementadas, incluindo sua recuperação e utilização no tratamento de resíduos da bovinocultura, bem como na produção, transporte e distribuição de energia.

As estimativas de emissões podem fornecer informações cruciais para a redução de GEE pela agricultura familiar, contribuindo para planos de adaptação climática que abordam o manejo de dejetos, entre outros aspectos em propriedades de agricultura familiar.

## **2. OBJETIVO**

Dada a importância da agropecuária familiar para o país, este trabalho tem como objetivo estimar as emissões de GEE, como metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), em uma propriedade rural localizada no município de Senador Cortes, MG, que se dedica à atividade de bovinocultura leiteira.

### **2.1. Objetivos Específicos**

- Caracterizar as atividades de pecuária bovina na propriedade, com ênfase na fermentação entérica e nas emissões CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O provenientes do manejo de dejetos.
- Apresentar e comparar as emissões da propriedade com os valores registrados no estado de Minas Gerais e no Brasil.
- Identificar a principal fonte de emissão de GEE na propriedade.
- Propor alternativas recomendadas pela literatura para uma criação de gado leiteiro mais sustentável.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Marcos Legais e Programas Relacionados às Mudanças Climáticas**

As mudanças climáticas têm sido amplamente discutidas, levando ao desenvolvimento de um arcabouço legal e programático para enfrentar seus impactos. A trajetória desse processo começou com a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em 1972 em Estocolmo. Esse evento, o primeiro grande fórum global focado em questões ambientais, discutiu a relação entre desenvolvimento econômico e conservação ambiental, estabelecendo o meio ambiente como uma prioridade internacional. Um dos principais legados dessa conferência foi a criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), que até hoje lidera iniciativas globais para o desenvolvimento sustentável e a conservação dos recursos naturais (Dellagnezze, 2022).

Em 1988, foi criado o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), com o objetivo de fornecer uma base científica para decisões políticas sobre o clima. Os relatórios periódicos do IPCC, com projeções climáticas e cenários de emissões, têm sido fundamentais para orientar as políticas internacionais voltadas para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas.

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, mais conhecida como ECO-92 ou Rio-92, realizada no Rio de Janeiro, foi outro marco histórico para o desenvolvimento sustentável, reunindo representantes de 178 países, ONGs e diversos setores. O evento visou conciliar o crescimento econômico com a conservação ambiental e resultou em importantes acordos, como a Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) e a Agenda 21, um plano de ação para o desenvolvimento sustentável. A conferência também lançou as bases para a governança climática internacional, que mais tarde levaria ao Protocolo de Quioto (1997) e ao Acordo de Paris (2015) (ONU, 2020).

O Protocolo de Quioto, negociado no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), representou um marco histórico nos esforços globais para combater o aquecimento global. Conforme ressaltado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), este tratado foi o primeiro a estabelecer metas quantificadas de redução de emissões de GEE para os países industrializados. Além disso, o Protocolo introduziu mecanismos de flexibilização, como o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que permitiu a compra de créditos de carbono por parte dos países

desenvolvidos, incentivando a implementação de projetos de redução de emissões em países em desenvolvimento (UNFCCC, 1998; Dellagnezze, 2022).

Posteriormente, o Acordo de Paris, assinado em 2015, representou uma mudança significativa na governança climática global. Diferente de seu antecessor, o Acordo envolve todos os países, independentemente de seu estágio de desenvolvimento, comprometendo-os a manter o aumento da temperatura global abaixo de 2°C e esforçando-se para limitá-lo a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais (UNFCCC, 2015; Dellagnezze, 2022). Cada país signatário submete suas metas de redução de emissões por meio das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs), revisadas periodicamente.

Outro elemento central nas discussões climáticas globais são as Conferências das Partes (COP), realizadas anualmente sob a supervisão da UNFCCC. As COPs reúnem representantes de governos, ONGs e o setor privado para discutir e negociar ações globais. Entre as COPs mais relevantes, destaca-se a COP21, que culminou no Acordo de Paris. Esses encontros anuais são importantes para avaliar o progresso das negociações climáticas e aumentar a ambição das metas climáticas (Dellagnezze, 2022).

A adoção dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em 2015, também integrou a agenda climática às discussões sobre desenvolvimento sustentável. O ODS 13, em particular, trata da ação contra a mudança do clima, incentivando que os países incorporem medidas climáticas em suas políticas nacionais e fortaleçam a resiliência de comunidades vulneráveis.

Nesse contexto, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), criado pelo Protocolo de Quioto, desempenha um papel importante ao permitir que países em desenvolvimento implementem projetos que reduzem as emissões de GEE, gerando créditos de carbono. Esses créditos podem ser comercializados com países industrializados, criando um fluxo de financiamento para tecnologias e práticas sustentáveis (MCTI, 2021). A integração do MDL aos ODS possibilita que tais projetos não só reduzam as emissões, mas também promovam benefícios socioeconômicos locais, como geração de empregos, acesso à energia renovável e melhoria na qualidade do ar, alinhando as ações climáticas com os objetivos mais amplos de desenvolvimento sustentável.

Em nível nacional, o Brasil instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) em 2009, que estabelece diretrizes e metas voluntárias de redução de emissões (Brasil, 2009). A

PNMC prevê a criação de Planos Setoriais de Mitigação e Adaptação, voltados para diferentes setores da economia, como energia, agricultura e florestas.

Em 2011, foi estabelecido o Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC) que foi implementado entre 2010 e 2020. Para dar continuidade ao Plano ABC e enfrentar a mudança do clima na agropecuária, o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) elaborou o ABC+ que será executado entre 2020 e 2030 (MAPA, 2023).

O Brasil tem desempenhado um papel significativo nas discussões internacionais sobre mitigação e adaptação às mudanças climáticas desde a ECO-92. A PNMC, apesar de ser voluntária, destacou o compromisso do país em reduzir suas emissões projetadas entre 36,1% e 38,9% até 2020 (Brasil, 2009), tornando-o um dos primeiros países em desenvolvimento a estabelecer metas de redução. No âmbito do Acordo de Paris, assinado em 2015, o Brasil assumiu compromissos ambiciosos por meio de suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs), prometendo reduzir suas emissões de GEE em 37% até 2025 e 43% até 2030, em comparação com os níveis de 2005 (MMA, 2023).

### **3.2. Inventário de Gases de Efeito Estufa (GEE)**

Para alcançar uma eficiência ambiental, é fundamental utilizar métodos quantitativos para estimar a emissão de GEE. Dessa forma, o uso de inventários de GEE permite conhecer os impactos da atividade operacional, estabelecer estratégias, planos e metas para a redução das emissões de GEE (CNMP, 2022).

O inventário de emissões é uma análise detalhada que identifica as fontes e sumidouros de GEE, ou seja, os processos que liberam ou removem esses gases da atmosfera (ABNT, 2014). Ele é uma ferramenta importante para a gestão das emissões, permitindo que organizações e outras entidades se posicionem de forma mais estratégica em relação às atividades com maior potencial de emissão e remoção de GEE.

O *IPCC Guidelines for National Green house Gas Inventories*, atualizadas em 2019 como *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines* (IPCC, 2019), é o principal documento para a elaboração de inventários de gases de efeito estufa, tanto nacionais quanto locais (Más Rosa et. al., 2022).

As fontes de GEE são classificadas em cinco setores distintos no inventário, a saber: Energia; Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU); Agropecuária; Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF); e Resíduos. Essa categorização é estabelecida com base na Quarta Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC, datada de 2020 (MCTI, 2020).

Especificamente para a propriedade em análise, o setor primordial considerado é o da agropecuária, no qual serão conduzidas estimativas das emissões de CH<sub>4</sub> derivadas da fermentação entérica, assim como de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O provenientes do manejo de dejetos. As estimativas das emissões da propriedade foram elaboradas considerando a produção de leite, o manejo dos dejetos animais e a aplicação dos mesmos diretamente no solo.

### **3.3. Base Metodológica**

As metodologias do IPCC (UNFCCC, 2020) para quantificar as emissões de gases de efeito estufa são divididas em três níveis, chamados *Tiers*, que variam em complexidade e representação das características de cada país. O *Tier 1* é o método básico, usando fatores de emissão-padrão recomendados pelo IPCC. O *Tier 2* é um nível intermediário que requer dados mais específicos do país em questão. Ele vai além dos fatores de emissão-padrão do *Tier 1*, incorporando informações regionais e locais que podem influenciar as estimativas de emissões. Por exemplo, para a pecuária leiteira, o *Tier 2* pode incluir dados sobre tipos específicos de alimentação, práticas de manejo de dejetos e condições climáticas locais que afetam as emissões de CH<sub>4</sub> entérico e N<sub>2</sub>O.

O *Tier 3* é o mais detalhado, exigindo dados nacionais detalhados e completos. Ele incorpora modelos mais sofisticados para estimar as emissões de GEE, levando em conta variáveis como o uso do solo, mudanças no uso da terra, tecnologias de produção específicas e características geográficas. No contexto da pecuária, o *Tier 3* pode envolver medições diretas em campo, monitoramento contínuo das emissões ou modelos complexos de simulação. Os *Tiers 2* e *3* são reconhecidos por proporcionar maior precisão nas estimativas das emissões (UNFCCC, 2020).

Para o bovino leiteiro, recomenda-se o uso do *Tier 2* para quantificar as emissões de gases de efeito estufa (IPCC, 2006; EMBRAPA, 2015). Para a análise das emissões de GEE na propriedade, será adotada uma abordagem que integra as diretrizes do IPCC e os métodos estabelecidos pela EMBRAPA. As equações e procedimentos recomendados por ambas as entidades serão seguidos para garantir uma avaliação abrangente e precisa das emissões.

### **3.4. Mudanças Climáticas e Agropecuária**

As mudanças climáticas têm se tornado uma realidade na sociedade, com impactos significativos no desenvolvimento. Entre as atividades mais vulneráveis estão aquelas que dependem fortemente de recursos naturais, como a produção agropecuária (Garcia et. al., 2022). Este setor é um dos principais emissores de GEE, contribuindo significativamente para o aquecimento global e as mudanças climáticas (MAPA, 2023). No entanto, a agropecuária desempenha um papel crucial na segurança alimentar, no fornecimento de matérias-primas, na produção de bioenergia, no emprego de muitas pessoas, no sequestro de carbono e na balança comercial do Brasil e de outros países (Garcia et. al., 2022).

Diante desse cenário, é essencial compreender as dinâmicas das emissões de GEE provenientes da agropecuária e suas implicações para a mitigação das mudanças climáticas. Entre os principais gases emitidos pelo setor, o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) se destacam. O metano é gerado principalmente durante a digestão dos ruminantes, um processo conhecido como fermentação entérica, enquanto o óxido nitroso é resultante do manejo inadequado dos dejetos animais e da aplicação de fertilizantes (Tomich et al., 2024). Essas emissões não apenas impactam o clima, mas também refletem a eficiência e a sustentabilidade das práticas agropecuárias.

### **3.5. Fermentação Entérica**

A fermentação entérica é um processo metabólico essencial que ocorre no trato digestivo de animais herbívoros, especialmente os ruminantes, abrangendo diversas regiões, como o estômago, o intestino delgado e o intestino grosso. Esse complexo processo é mediado por uma população microbiana presente no rúmen, uma importante câmara do estômago desses animais. Durante a fermentação, os carboidratos celulósicos provenientes da dieta dos animais são quebrados por esses microrganismos em ácidos graxos de cadeia curta, tais como ácido acético, propiônico e butírico (Lima et. al., 2010). Esses ácidos graxos são então absorvidos pelo organismo do animal, onde servem como fonte essencial de energia para seu metabolismo.

É importante ressaltar que a fermentação entérica é um processo anaeróbico, ocorrendo na ausência de oxigênio. Esse mecanismo metabólico desempenha um papel crucial no processo

digestivo dos ruminantes, permitindo-lhes extrair nutrientes essenciais de sua dieta à base de plantas (Lima et. al., 2010).

Estudos realizados no Brasil têm investigado os efeitos da melhoria da digestibilidade da dieta dos ruminantes, demonstrando que essa otimização pode favorecer a ingestão alimentar, o ganho de peso e a diluição das emissões de metano por produto (EMBRAPA, 2015). A ausência de estratégias de aprimoramento de manejo, por outro lado, pode resultar em um aumento no fator médio de emissão de metano por animal. Dados fornecidos pelo IPCC (2006) para a América Latina indicam valores padrão de emissão de metano para diferentes categorias de bovinos, sendo de 63 kg CH<sub>4</sub>/animal por ano para vacas de leite e 56 kg CH<sub>4</sub>/animal por ano para outros bovinos (EMBRAPA, 2015).

### **3.6. Emissões de CH<sub>4</sub> - Manejo de Dejetos de Animais**

O manejo de dejetos animais envolve práticas para coletar, armazenar e tratar os resíduos produzidos pelos animais, visando proteger o meio ambiente. Métodos como a remoção de esterco seco por raspagem ou o uso controlado de água no manejo semissólido têm impacto nas emissões de metano (EMBRAPA, 2015). Em propriedades com bovinos leiteiros, a quantidade diária de esterco é significativa, cerca de 10% do peso corporal da vaca. A decomposição anaeróbica desses resíduos é uma fonte importante de metano, cujas emissões são influenciadas pela quantidade de esterco produzido e pelas práticas de gestão adotadas (Konzen, Alvarenga, 2009; IPCC, 2006). Como destacado pela Embrapa (2015), as emissões de CH<sub>4</sub> oriundas do manejo de dejetos são menores que as fermentação entérica.

### **3.7. Emissões de N<sub>2</sub>O - Manejo de Dejetos de Animais**

De acordo com IPCC (2006), as emissões diretas de N<sub>2</sub>O ocorrem durante o manejo do esterco animal devido à nitrificação e desnitrificação do nitrogênio presente no esterco. Durante a nitrificação, o nitrogênio amoniacal é oxidado em nitrogênio nitrato, liberando N<sub>2</sub>O em condições aeróbicas. Já na desnitrificação, os nitritos e nitratos são transformados em N<sub>2</sub>O em um ambiente anaeróbico. Esses processos ocorrem durante o armazenamento e tratamento do esterco, contribuindo para as emissões totais de N<sub>2</sub>O.

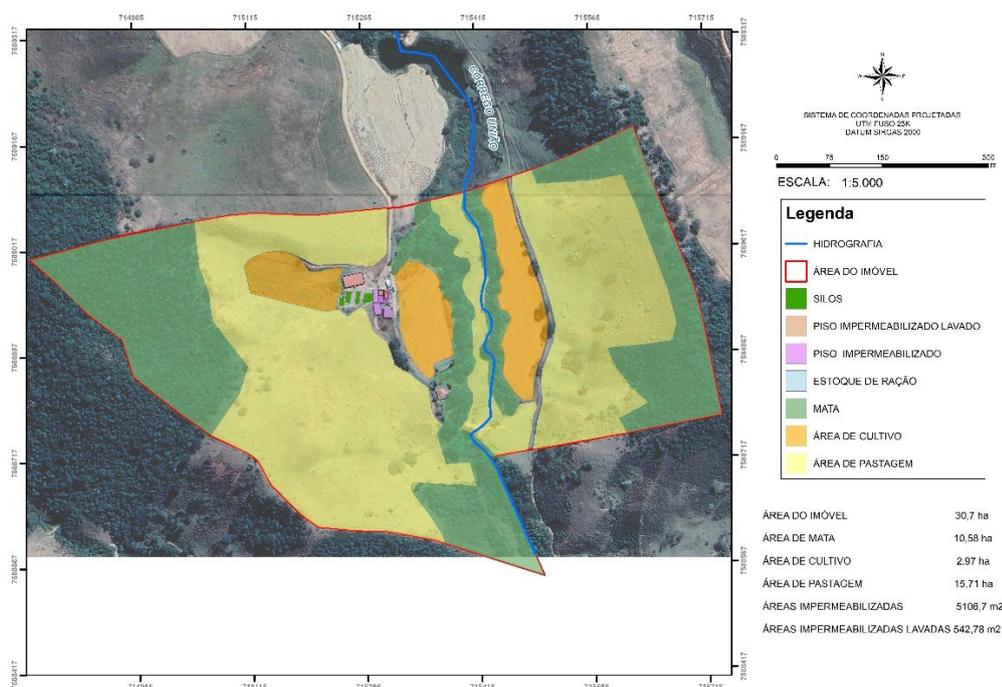
As emissões indiretas referem-se à perda de nitrogênio volátil, como amônia e óxidos de nitrogênio, durante a coleta, armazenamento e aplicação do esterco animal. Isso ocorre devido à conversão do nitrogênio orgânico em amônia, que pode evaporar para o ar, e ao escoamento do esterco para corpos d'água, resultando na contaminação da água (IPCC, 2006).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Caracterização da Propriedade

A propriedade em estudo está localizada no município de Senador Cortes, situado na região da Zona da Mata de Minas Gerais, na bacia do Paraíba do Sul, especificamente na sub-bacia do Córrego União, que atravessa o terreno (Figura 1). Com uma extensão total de 30,7 hectares, a área é dividida em 15,7 hectares de vegetação rasteira (pastagem), 10,6 hectares de matas, 2,9 hectares destinados a cultivos para a alimentação do rebanho leiteiro e 1,5 hectares de áreas de benfeitorias e vias internas.

**Figura 1** - Mapa de localização da propriedade de estudo



Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR, 2024.

A Unidade Familiar de Produção Agrária (UFPA) é responsável pela produção e comercialização diária de 1.150 litros de leite para um laticínio. O rebanho é composto por 98 cabeças de gado, criadas para produção leiteira utilizando um sistema de confinamento do tipo *freestall* e em pastagens, abrangendo tanto animais jovens, novilhas e bezerros, quanto vacas adultas. Os detalhes sobre a distribuição e quantidade de animais na fazenda estão representados na Tabela 1.

**Tabela 1** - Distribuição do gado na propriedade

<b>GADO/MANEJO</b>	<b>PASTO</b>	<b>CONFINADO</b>	<b>TOTAL</b>
Adulta Lactante	8	32	40
Adulta Seca	14	0	14
Jovens	34	10	44
<b>TOTAL</b>	<b>56</b>	<b>42</b>	<b>98</b>

Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR, 2024.

A nutrição do rebanho leiteiro na propriedade é cuidadosamente planejada para atender às necessidades específicas dos animais, garantindo uma alimentação balanceada que maximiza a produção de leite. Para as vacas mantidas em confinamento, a dieta diária média inclui 35 kg de silagem de milho e 12 kg de ração. Por outro lado, as vacas criadas a pasto seguem uma dieta diária média composta por 10 kg de silagem de milho e 5 kg de ração.

Na propriedade são empregados dois tipos de manejo dos dejetos decorrentes do processo de ordenha. Áreas como o galpão *freestall*, a sala de espera e a sala de ordenha (Figura 2) são raspadas e lavadas diariamente, resultando na remoção de parte dos dejetos sólidos, enquanto o restante é descartado como efluente, infiltrando-se no solo. O manejo dos dejetos provenientes da bovinocultura leiteira na propriedade adota o sistema convencional de manejo de esterco, sendo:

- Manejo de esterco sólido: Produzido em 89,4% da área pavimentada do curral.
- Manejo de esterco líquido: Produzido em 10,6% da área pavimentada do curral.

**Figura 2**—Mapade caracterização espacial das construções.



Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR,2024.

O esterco é coletado diariamente nas áreas de confinamento e ordenha, no galpão, *freestall*, sala de espera e sala de ordenha, de forma manual. Após a coleta, o esterco é armazenado em pilhas (Figura 3a), para o esterco sólido, e em uma lagoa de decantação (Figura 3b), para esterco líquido advindo da lavagem das áreas pavimentadas.

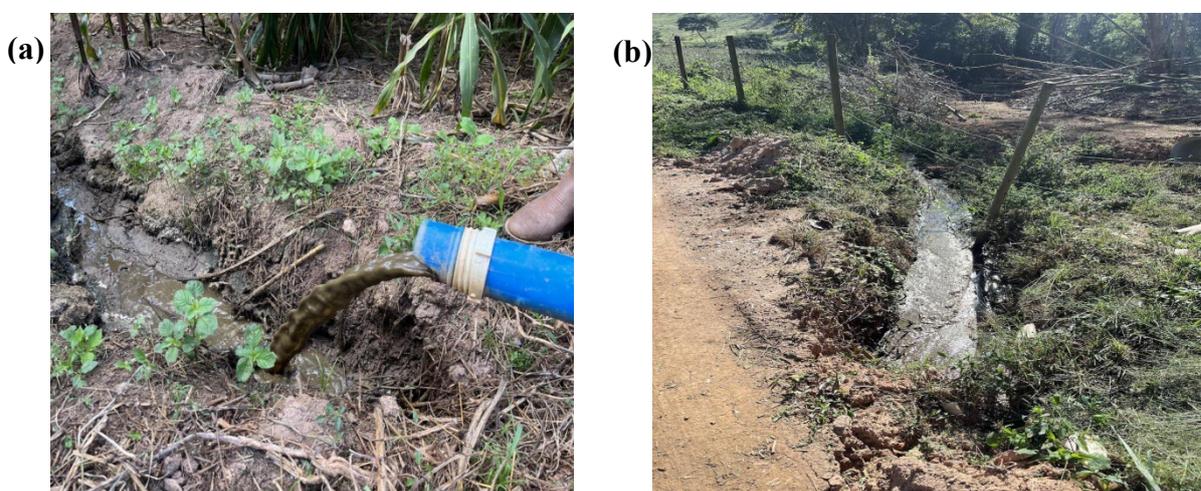
**Figura 3 - (a) Manejo do esterco sólido em pilhas, (b) Lagoa de decantação.**



Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR, 2024.

Este esterco não passa por nenhum tipo de tratamento e sua aplicação é realizada diretamente no solo, sendo transportado e aplicado nas áreas destinadas a pastagem e plantio. O esterco líquido é coletado e despejado através de canos de saída demarcados nas Figura 4a e 4b. Este efluente é direcionado para uma lagoa de decantação, que já excedeu sua capacidade e está conectada diretamente a um córrego adjacente. A propriedade não faz um monitoramento e manutenção do armazenamento e aplicação do esterco, tampouco do seu efluente líquido.

**Figura 4 - (a) Cano de coleta de efluente, (b) Efluente líquido.**



Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR, 2024

#### 4.2. Modelos matemáticos para cálculo das Emissões de GEE

Para o cálculo das emissões de GEE provenientes da atividade de bovinocultura leiteira na propriedade em estudo, foram utilizados, prioritariamente, dados específicos da própria propriedade. Na ausência desses dados, optou-se por empregar os valores e parâmetros utilizados pela EMBRAPA (2015) para o cálculo das emissões nacionais brasileiras de GEE. Em casos em que também não se dispunha de dados da EMBRAPA (2015), foram adotadas as recomendações do IPCC específicas para a América do Sul (IPCC, 2006). Na Tabela 2 apresentam-se os parâmetros adotados para as estimativas de emissão da propriedade, detalhando as fontes de dados utilizadas em cada caso.

**Tabela 2** - Sumário de parâmetros utilizados.

Variáveis	Free Stall			Pasto	
	Vacas em lactação	Vacas secas	Jovem	Vacas secas	Jovens
<b>W(kg)</b>	550*	250**	500*	400**	250**
<b>WG**</b>	0,3	0,6	0,3	0,6	0,3
<b>Ca**</b>	0,17	0,37	0,17	0,37	0,37
<b>Cfi**</b>	0,38	0,332	0,38	0,332	0,332
<b>DE%**</b>	80	60,7	65	65	65
<b>MF (%)*</b>	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
<b>Cpreg**</b>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
<b>MP**</b>	2,2	1,1	2,2	1,1	1,1
<b>Ym**</b>	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
<b>C**</b>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<b>Fator B<sub>0i</sub>***</b>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
<b>ASH<sub>i</sub>**</b>	8	8	8	8	8
<b>Sv**</b>	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
<b>UE*GE**</b>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
<b>MCF**</b>	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
<b>MS**</b>	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
<b>Nt*</b>	32	10	8	14	34

Fonte: ELABORADO PELO AUTOR, 2024.

\* Propriedade, 2024

\*\* Embrapa, 2015

\*\*\* IPCC,2006

#### **4.2.1. Modelo de emissões de Metano provenientes da fermentação entérica**

Para estimar as emissões de metano provenientes da fermentação entérica, seguiu-se as diretrizes do IPCC (2006), Volume 4, Capítulo 10, intitulado "*Emissions from livestock and manure management*", utilizando o método *Tier 2* para a fermentação entérica. A Tabela 3 apresenta as fórmulas para cada um dos modelos utilizados pela Embrapa (2015).

**Tabela 3** - Formulário de equações para o cálculo da fermentação entérica.

Equação	Descrição	Modelo	Unidade
1	Emissão total anual	$E = EF_{(T)} \times \left(\frac{N_{(T)}}{10^6}\right)$	Gg.CH <sub>4</sub> .ano <sup>-1</sup>
2	Fator de emissão Fermentação entérica	$EF_{(i)} = \frac{GE \times \frac{Y_m}{100} \times 365}{55,65}$	kg.CH <sub>4</sub> .ca beça <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
3	Ingestão de energia bruta	$GE = \left[ \frac{\left(\frac{NE_m + NE_a + NE_l + NE_{work} + NE_p}{REM}\right) + \left(\frac{NE_g + NE_{wool}}{REG}\right)}{DE} \right]$	MJ.cabeça <sup>-1</sup> .dia <sup>-1</sup>
4	Energia requerida para manutenção	Para o gado de leite $NE_m = 0,335 \times W^{0,75}$  Para demais bovinos $NE_m = 0,335 \times W^{0,75}$	MJ.dia <sup>-1</sup>
5	Energia requerida para alimentação	Para gado de leite $NE_a = 0,17 \times NE_m$ Para demais bovinos $NE_a = 0,37 \times NE_m$	MJ.dia <sup>-1</sup>
5	Energia líquida para lactação	$NE_l = MP \times 1,47 + 0,40 \times MF$	MJ.dia <sup>-1</sup>
7	Energia líquida para gestação	$NE_p = C_{preg} \times NE_m$	MJ.dia <sup>-1</sup>
8	Relação entre a energia disponível em uma dieta para manutenção e a energia digestível consumida	$REM = 0,298 + 0,00335 \times DE$	% da energia digestível

9	Relação entre a energia líquida disponível em uma dieta para crescimento e a energia digestível consumida	$REG = -0,036 + 0,00535 \times DE$	% da energia digestível
10	Energia para o crescimento	$NE_g = 4,18 \times [(0,035 \times (W^{0,75}) \times (WG^{1,119}))] + WG$	MJ.dia <sup>-1</sup>

Fonte: ADAPTADO DE EMBRAPA, 2015.

#### 4.2.2. Modelo de emissões de Metano provenientes do manejo de dejetos

Para calcular os fatores de emissão (EF) de metano para o gado bovino, devido à relevância das emissões, utilizou-se a metodologia *Tier 2*. A população de gado bovino foi subdividida em gado de leite e gado de corte, confinado ou à pasto, sendo ainda segmentado em fêmea lactante, fêmeas adultas secas e jovens. A Tabela 4 apresenta as fórmulas para cálculo de emissões de metano de dejetos bovinos.

**Tabela 4** - Formulário de equações para o cálculo CH<sub>4</sub> – Dejetos bovinos.

Equação	Descrição	Modelo	Unidade
11	Emissões de CH <sub>4</sub> pela gestão do esterco, para uma população definida	$CH_{4,E} = \sum_T \frac{(EF_T \times N_T)}{10^6}$	Gg CH <sub>4</sub> ano <sup>-1</sup>
12	Fator de emissão de CH <sub>4</sub> pela gestão do esterco	$EF_{ik} = VS_i \times B_{oi} \times \sum_j^i \left( \frac{MCF_{jk} \times MS_{ijk}}{10^4} \right) \times 365 \times 0,67$	Kg CH <sub>4</sub> .dia/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> .ano
13	Excreção diária média de sólidos voláteis	$VS_i = GE_i \times \left( \frac{1 \text{ kg} - ms}{18,45MJ} \right) \times \left( \frac{1 - DE_i}{100} \right) \times \left( \frac{1 - ASHi}{100} \right)$	Kg de matéria seca/dia

Fonte: ADAPTADO DE EMBRAPA, 2015.

#### 4.2.3. Modelo de emissões de Óxido Nitroso provenientes do manejo de dejetos

Para o cálculo das emissões de N<sub>2</sub>O provenientes do manejo de dejetos na propriedade em estudo, utilizou-se as recomendações do IPCC específicas para a América do Sul (IPCC, 2006). A Tabela 5 apresenta um resumo dos parâmetros utilizados para as estimativas de emissão na propriedade, detalhando as fontes de dados empregadas em cada caso.

**Tabela 5** - Sumário de parâmetros utilizados para emissões de N<sub>2</sub>O.

Variáveis	Free Stall			Pasto	
	Vacas em lactação	Vacas secas	Jovem	Vacas secas	Jovens
<b>W(kg)</b>	550*	250**	500*	400**	250**
<b>WG**</b>	0,3	0,6	0,3	0,6	0,3
<b>Ca**</b>	0,17	0,37	0,17	0,37	0,37
<b>Cfi**</b>	0,38	0,332	0,38	0,332	0,332
<b>DE%**</b>	80	60,7	65	65	65
<b>MF(%)*</b>	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
<b>Cpreg**</b>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

<b>MP**</b>	2,2	1,1	2,2	1,1	1,1
<b>Ym**</b>	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
<b>C**</b>	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
<b>B<sub>0i</sub>***</b>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
<b>ASH<sub>i</sub>**</b>	8	8	8	8	8
<b>Sv**</b>	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
<b>UE*GE**</b>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
<b>MCF**</b>	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
<b>MS**</b>	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
<b>Nt*</b>	32	10	8	14	34
<b>EF<sub>3</sub>***</b>	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021
<b>N<sub>ext</sub>***</b>	70	40	70	40	40
<b>Frac<sub>GASMS</sub>***</b>	35	30	35	30	30
<b>EF<sub>4</sub>***</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
<b>EF<sub>5</sub>***</b>	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Fonte: ELABORADO PELO AUTOR, 2024.

\* Propriedade, 2024

\*\* Embrapa, 2015

\*\*\* IPCC,2006

As emissões de N<sub>2</sub>O do esterco surgem tanto diretamente, via processos de nitrificação e desnitrificação, quanto indiretamente, resultantes da mineralização do nitrogênio orgânico em amônia, influenciada pelo tempo e temperatura. Durante o armazenamento e gestão do esterco, essas emissões podem ser significativas. A Tabela 6 detalha os modelos empregados para estimar as emissões de N<sub>2</sub>O direta e indiretamente na propriedade.

**Tabela 6** - Formulário de equações para o cálculo N<sub>2</sub>O – Dejetos bovinos.

<b>Equação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Modelo</b>	<b>Unidade</b>
14	Emissões Diretas de N <sub>2</sub> O provenientes da Gestão do Esterco	$N_2O_{D(mm)} = \left[ \sum_s \left[ \sum_T (N_{(T)} \times Next_T \times MS_{(T,S)}) \right] \times EF_{3(s)} \right] \times \frac{44}{28}$	Kg.N.ano <sup>-1</sup>
15	Emissões indiretas de N <sub>2</sub> O provenientes da gestão do esterco se referem às perdas de nitrogênio devido à volatilização durante o manejo do esterco.	$N_{volátil(MMS)} = \sum_s \left[ \sum_T \left( N_{(T)} \times Next_T \times MS_{(T,S)} \times \frac{Frac_{GasMS}}{100} \right) \right]$	Kg.N.ano <sup>-1</sup>
16	Emissões indiretas de N <sub>2</sub> O devido à volatilização de N na gestão do esterco	$N_2O_{G(mm)} = N_{volátil(MMS)} \times EF_4 \times \frac{44}{28}$	Kg.N.animal <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
17	Perdas de N por lixiviação e escoamento na gestão do esterco	$N_{lixiviação(MMS)} = \sum_s \left[ \sum_T \left( N_{(T)} \times Next_T \times MS_{(T,S)} \times \frac{Frac_{LeiteMS}}{100} \right) \right]$	Kg.N.animal <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
18	Emissões indiretas de N <sub>2</sub> O resultantes da lixiviação e do escoamento na gestão do esterco	$N_2O_{L(mm)} = N_{lixiviação(MMS)} \times EF_5 \times \frac{44}{28}$	Kg.N.animal <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>

Fonte: ADAPTADO DE IPCC, 2006.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Emissões de CH<sub>4</sub> - Fermentação entérica

Na Tabela 7, são apresentados os resultados dos modelos de fermentação entérica para o gado da propriedade, incluindo os fatores de emissão específico para cada tipo de rebanho.

**Tabela 7** - Resultados de emissões GEE proveniente da fermentação entérica.

<b>Free Stall</b>	<b>Pasto</b>
-------------------	--------------

<b>Variáveis</b>	Vacas em lactação	Jovem	Vacas em lactação	Jovens	Vacas secas	Unidade
<b>E</b>	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	Gg.CH <sub>4</sub> .ano <sup>-1</sup>
<b>Efi</b>	53,89	59,42	74,03	53,14	60,55	kg.CH <sub>4</sub> .cabeça <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
<b>GE</b>	126,40	139,38	173,65	124,64	142,02	MJ.cabeça <sup>-1</sup> .dia <sup>-1</sup>
<b>NE<sub>m</sub></b>	34,52	20,24	34,52	20,24	28,80	MJ.dia <sup>-1</sup>
<b>NE<sub>l</sub></b>	6,67	3,44	6,67	3,44	4,90	MJ.dia <sup>-1</sup>
<b>NE<sub>p</sub></b>	3,45	2,02	3,35	2,02	2,88	MJ.dia <sup>-1</sup>
<b>REM</b>	0,57	0,50	0,52	0,52	0,52	% da energia digestível
<b>REG</b>	0,39	0,29	0,31	0,31	0,31	% da energia digestível
<b>NE<sub>g</sub></b>	4,66	7,70	4,66	7,70	4,66	MJ.dia <sup>-1</sup>

Fonte: ELABORADO PELO AUTOR, 2024.

**E:** Emissão total anual (Gg.CH<sub>4</sub>.ano<sup>-1</sup>)

**E<sub>f</sub>(<sub>T</sub>):** Fator de emissão para população pecuária definida, kg.CH<sub>4</sub>.cabeça<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>;

**GE:** Ingestão de energia bruta, MJ.cabeça<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>;

**NE<sub>m</sub>:** Requerimento de energia líquida para a manutenção animal, MJ.dia<sup>-1</sup>;

**NE<sub>l</sub>:** Energia líquida para lactação, MJ.dia<sup>-1</sup>;

**NE<sub>p</sub>:** Requerimento de energia líquida para gestação, MJ.dia<sup>-1</sup>;

**REM:** Taxa de energia líquida utilizada para a manutenção, % da energia digestível;

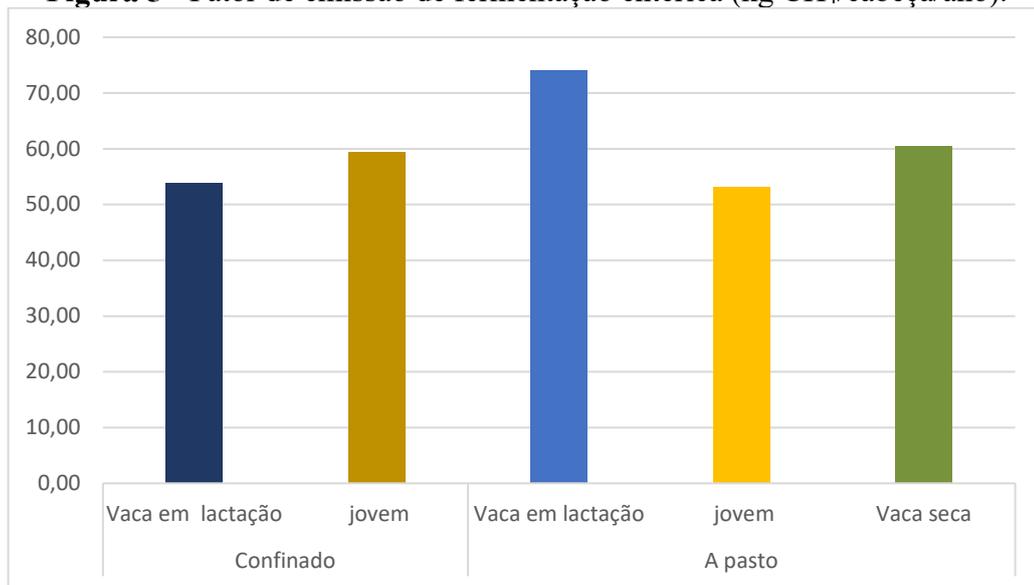
**REG:** Taxa de energia líquida utilizada para o crescimento, % da energia digestível;

**NE<sub>g</sub>:** Energia líquida necessária para crescimento, MJ.dia<sup>-1</sup>;

De acordo com o inventário de emissões nacionais da Embrapa (2015), foram registrados diferentes fatores de emissão para diferentes categorias de animais na região sudeste do Brasil e no estado de Minas Gerais. Para animais jovens, o fator de emissão foi de 41 kg.CH<sub>4</sub>.cabeça<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> na região sudeste. Em Minas Gerais, para vacas leiteiras, esse fator foi de 63 kg.CH<sub>4</sub>.cabeça<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, enquanto para fêmeas adultas, o valor registrado foi de 70 kg.CH<sub>4</sub>.cabeça<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

Os resultados do fator de emissão para cada categoria de animal da propriedade são apresentados na Figura 5.

**Figura 5** - Fator de emissão de fermentação entérica (kg CH<sub>4</sub>/cabeça/ano).



Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR, 2024.

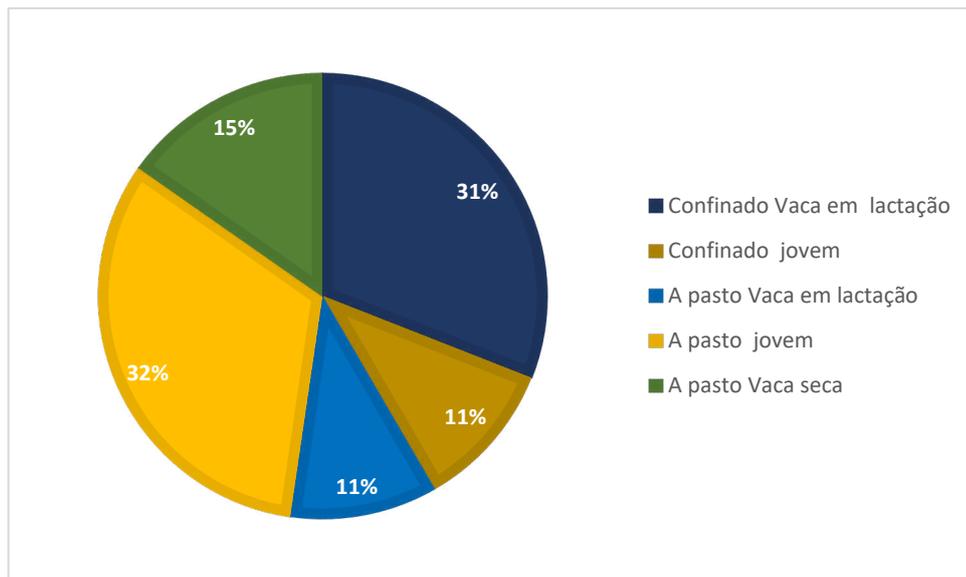
Ao comparar os resultados deste trabalho com os valores estimados para Minas Gerais e para o Brasil, observa-se que as vacas em lactação criadas a pasto apresentam maiores emissões de CH<sub>4</sub> entérico, com 74,03 kg.CH<sub>4</sub>.cabeça<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, cerca de 17% a mais que os valores estimados pela Embrapa (2015) para essa categoria. Em contrapartida, as vacas em lactação confinadas apresentam uma emissão de 53,89 kg.CH<sub>4</sub>.cabeça<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

O gado criado a pasto tende a emitir mais GEE, principalmente na forma de metano, em comparação com o gado confinado devido a diferenças na dieta e no manejo (Gerber et. al., 2013). Vacas a pasto consomem forragens fibrosas de baixa digestibilidade, que aumentam a produção de metano durante a fermentação entérica no rúmen. Além disso, o gado a pasto geralmente tem um ciclo de engorda mais longo, resultando em emissões cumulativas maiores ao longo de sua vida. Em contraste, o gado confinado é alimentado com dietas de alta energia (alimentos concentrados), que são mais eficientes em termos de digestão e resultam em menor produção de metano (Knapp et. al., 2014; Herrero et. al., 2011).

Os bovinos jovens criados em confinamento apresentam uma maior taxa de emissão de CH<sub>4</sub> entérico, com um fator de 59,42 kg.CH<sub>4</sub>.cabeça<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, em comparação com os jovens criados a pasto, que emitem 53,14 kg.CH<sub>4</sub>.cabeça<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Essa diferença pode ser atribuída à maior taxa de crescimento dos animais confinados, que são alimentados com dietas altamente energéticas e de rápida digestão (Gerber et. al., 2013).

Em termos de estimativas de emissões de CH<sub>4</sub> entéricos totais anuais para a propriedade, as pelos jovens em pasto correspondem à maior fonte de emissão, seguidas pelas vacas em lactação confinadas, devido à quantidade de animais de cada categoria. A Figura 6 apresenta as contribuições em porcentagens de emissões de metano para cada tipo de animal.

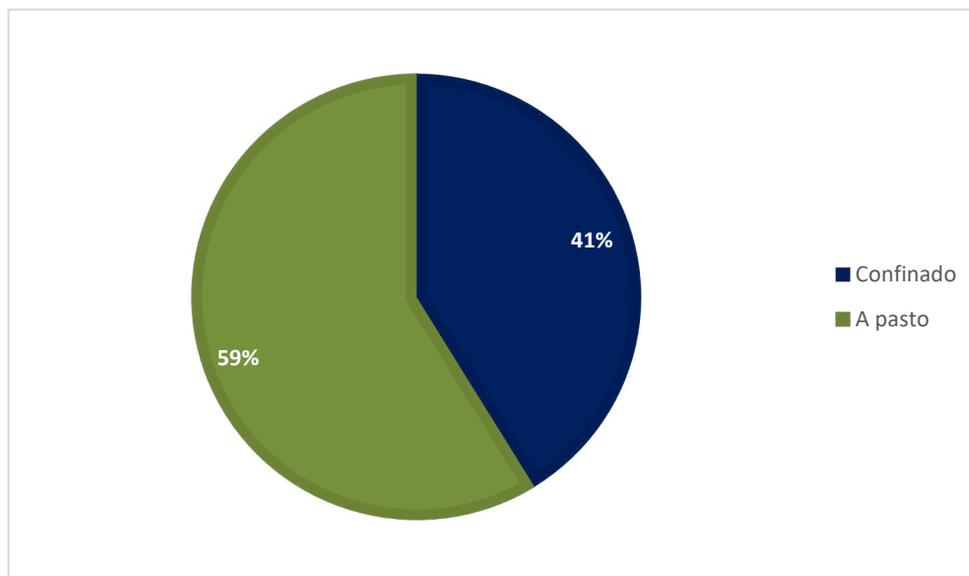
**Figura 6** - Porcentagem de emissões entéricas por tipo de animal e sistema.



Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR, 2024.

Com relação ao tipo de sistema de produção, na Figura 7 são apresentadas as porcentagens de contribuição de CH<sub>4</sub> entérico.

**Figura 7** - Porcentagem de contribuição na emissão de CH<sub>4</sub> entérico por tipo de sistema de produção.



Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR, 2024.

Observa-se que o gado criado a pasto são os principais contribuintes para as emissões de metano na propriedade, sendo responsáveis por 59% das emissões. As emissões de metano na pecuária leiteira são influenciadas por diversos fatores relacionados à alimentação e às práticas de manejo.

A composição da dieta é um fator determinante. Dietas ricas em fibra, como pastagens de baixa qualidade, tendem a aumentar a produção de metano devido à fermentação ruminal mais prolongada e menos eficiente (Hristov et. al., 2022). Estudos demonstram que a alimentação com pastos de baixa qualidade pode elevar as emissões de metano em até 20% em comparação com dietas mais concentradas (Beauchemin, 2022).

Além da dieta, o manejo reprodutivo e a longevidade dos animais também influenciam as emissões. Vacas com períodos de lactação mais longos e maior número de lactações tendem a emitir mais metano ao longo de sua vida produtiva. A qualidade da pastagem, o uso de aditivos alimentares e a eficiência reprodutiva são fatores inter-relacionados que podem modular as emissões de metano (Patra, 2013).

## 5.2. Emissões de CH<sub>4</sub> – Manejo de dejetos

A Tabela 8 apresenta os resultados de emissões de CH<sub>4</sub> do manejo de dejetos da propriedade.

**Tabela 8** - Resultados de emissões GEE proveniente do manejo de dejetos.

Variáveis	Free Stall		Pasto			Unidade
	Vacas em lactação	Jovem	Vacas em lactação	Jovem	Vacas secas	
<b>CH<sub>4,r</sub></b>	2,93E-08	1,98E-08	1,76E-08	5,37E-08	2,52E-08	Gg CH <sub>4</sub> ano <sup>-1</sup>
<b>EF</b>	0,0009	0,0020	0,0022	0,0016	0,0018	Kg CH <sub>4</sub> .dia/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> .ano
<b>VS</b>	25,21	54,58	60,55	43,48	49,53	Kg de matéria seca/dia

Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR, 2024.

**CH<sub>4,r</sub>** = Emissões totais de CH<sub>4</sub> pela gestão de esterno anual

**EFik** = Fator de emissão de CH<sub>4</sub> pela gestão do esterco (Kg CH<sub>4</sub>.dia/m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>.ano);

**VS<sub>i</sub>** = Excreção diária média de sólidos voláteis (Kg de matéria seca/dia);

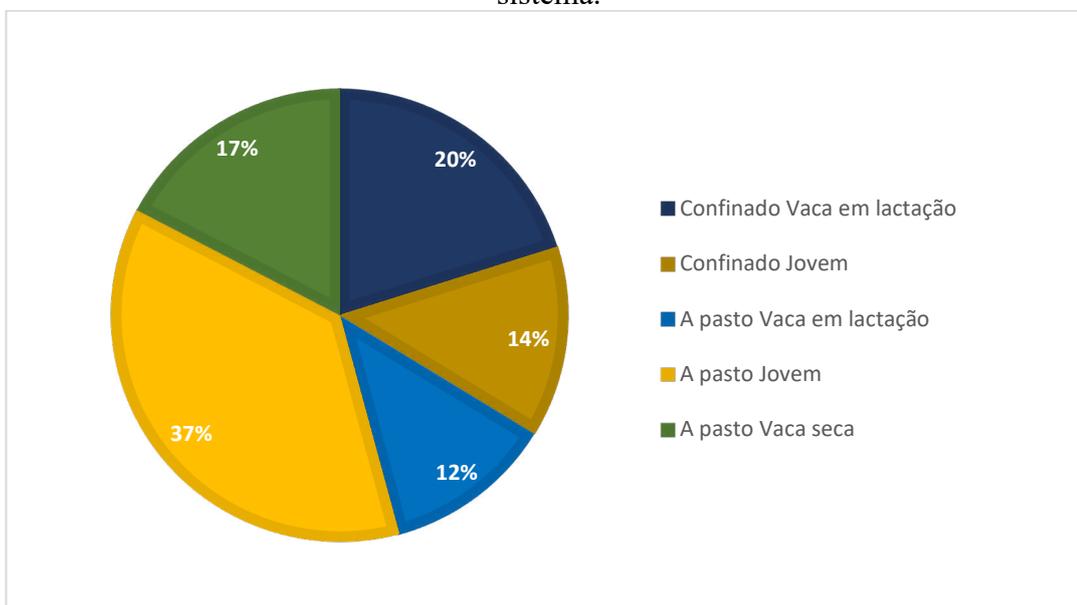
O Censo Agropecuário de 2017 classificou 441.829 propriedades em Minas Gerais como estabelecimentos de agricultura familiar (IBGE, 2017). As estimativas do fator de emissão de CH<sub>4</sub> do manejo de dejetos para o estado de Minas Gerais foi de 1,8 kg CH<sub>4</sub>/dia/ por m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ano para a bovinocultura leiteira (EMBRAPA, 2015). Na propriedade estudada, o valor da emissão de CH<sub>4</sub> do manejo de dejetos para vacas em lactação criadas a pasto foi de 0,0022 kg CH<sub>4</sub>/dia por m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ano.

Essa diferença pode ser explicada pelo sistema de criação adotado: vacas mantidas a pasto tendem a produzir menos metano no manejo de dejetos, pois seus dejetos são mais dispersos no solo, promovendo maior oxigenação e, assim, reduzindo as condições anaeróbias que favorecem a produção de metano. Além disso, sistemas de criação a pasto geralmente não utilizam estruturas fechadas para armazenamento de dejetos, como esterqueiras, que são ambientes propícios para a fermentação anaeróbia e consequente produção de metano (Zaparolli e Vasconcelos, 2022).

Para o gado jovem, as estimativas da Embrapa (2015) indicam a emissão no manejo de dejetos de 0,9 kg CH<sub>4</sub>/dia por m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ano em 2010. No entanto, o gado jovem na propriedade apresenta uma emissão de 0,0020 kg CH<sub>4</sub>/dia por m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ano. Em termos percentuais, a emissão da propriedade representa menos de 0,5% em comparação à emissão estadual.

As análises das emissões de CH<sub>4</sub> provenientes do manejo de dejetos mostram que as vacas em lactação e os jovens a pasto são os maiores contribuintes, representando 20% e 37% das emissões anuais, respectivamente. Embora as vacas em lactação a pasto emitam mais metano, as vacas confinadas contribuem mais para as emissões anuais devido ao maior número na propriedade. Os jovens a pasto lideram as emissões de dejetos, e o gado a pasto, em geral, é o maior responsável pelas emissões totais, devido ao menor controle no manejo dos dejetos e à exposição prolongada no solo. Na Figura 8 é possível ver as porcentagens de contribuição de cada tipo de animal.

**Figura 8** - Porcentagem de emissões de CH<sub>4</sub> do manejo de dejetos por tipo de animal e sistema.



Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR, 2024.

Tradicionalmente, os sistemas a pasto são associados a maiores emissões de metano provenientes dos dejetos. A exposição direta dos dejetos ao solo, sem coleta e tratamento adequados, propicia um ambiente favorável à atividade metanogênica. A fermentação

anaeróbica, que ocorre na ausência de oxigênio, é o principal processo responsável pela produção de metano a partir da matéria orgânica presente nos dejetos (Hristov et. al., 2022). A heterogeneidade dos sistemas a pasto, com diferentes tipos de pastagem, densidade animal e manejo, dificulta a padronização das práticas de manejo de dejetos, contribuindo para maiores perdas por lixiviação, erosão e volatilização (Beauchemin, 2022).

Em sistemas confinados, os dejetos são geralmente coletados e armazenados em estruturas específicas, como lagoas ou tanques. O manejo mais controlado desses sistemas permite a adoção de tecnologias de tratamento que reduzem as emissões de metano, como a oxigenação das lagoas e a utilização de aditivos inibidores da metanogênese (Tseten et. al., 2022). No entanto, é importante destacar que a eficiência dessas tecnologias varia de acordo com as condições locais e as características dos dejetos.

### 5.3. Emissões de N<sub>2</sub>O - Manejo de dejetos

As emissões indiretas e diretas de N<sub>2</sub>O da propriedade estão apresentadas na Tabela 9. Os principais contribuintes para essas emissões são as fêmeas confinadas e os animais jovens mantidos a pasto.

**Tabela 9** - Emissões de N<sub>2</sub>O indireto proveniente do manejo de dejetos.

Variáveis	Free Stall		Pasto			Unidade
	Vacas em lactação	Vacas secas	Vacas em lactação	Jovens	Vacas secas	
N <sub>2</sub> O <sub>D(mm)</sub> *	73,18	13,07	18,30	44,43	18,30	Kg.N.ano <sup>-1</sup>
N <sub>volátil(MMS)</sub> **	776,16	118,80	194,04	403,92	166,32	Kg.N.ano <sup>-1</sup>
N <sub>2</sub> O <sub>G(mm)</sub> *	12,20	1,87	3,05	6,35	2,61	Kg.N.animal <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>

<b>N<sub>lixiviação(MMS)</sub></b>							
**	665,28	118,80	166,32	403,92	166,32		Kg.N.animal <sup>1</sup> .ano <sup>-1</sup>
<b>N<sub>2</sub>O<sub>L(mm)</sub>*</b>	7,84	1,40	1,96	4,76	1,96		Kg.N.animal <sup>1</sup> .ano <sup>-1</sup>

Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR, 2024.

**N<sub>2</sub>O<sub>D(mm)</sub>**= Emissões Diretas de N<sub>2</sub>O provenientes da Gestão do Esterco (Kg.N.animal<sup>-1</sup>. dia<sup>-1</sup>);

**N<sub>volátil(MMS)</sub>** = Emissões indiretas de N<sub>2</sub>O provenientes da gestão do esterco se referem às perdas de nitrogênio devido à volatilização durante o manejo do esterco (Kg.N.animal<sup>-1</sup>. dia<sup>-1</sup>);

**N<sub>2</sub>O<sub>G(mm)</sub>** = Emissões indiretas de N<sub>2</sub>O devido à volatilização de N na gestão do esterco (Kg.N.animal<sup>-1</sup>. dia<sup>-1</sup>);

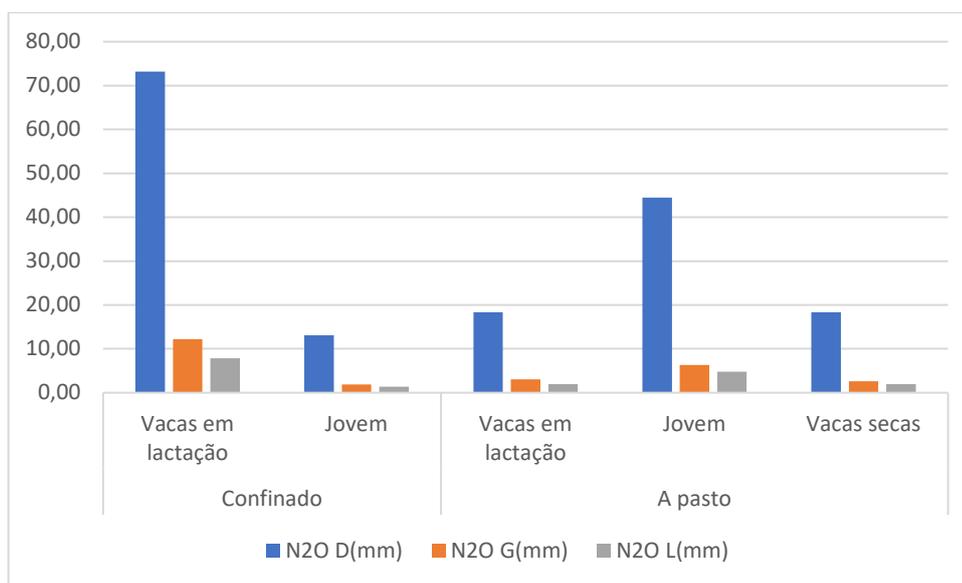
**N<sub>(lixiviação)(MMS)</sub>** = Perdas de N por lixiviação e escoamento na gestão do esterco (Kg.N.animal<sup>-1</sup>. dia<sup>-1</sup>);

**N<sub>2</sub>O<sub>L(mm)</sub>** = Emissões indiretas de N<sub>2</sub>O resultantes da lixiviação e do escoamento na gestão de esterco (Kg.N.animal<sup>-1</sup>. dia<sup>-1</sup>);

Os valores de emissões diretas de N<sub>2</sub>O do manejo de dejetos de gado de pastagem pela Embrapa (2015) foi de 154,18 Kg N<sub>2</sub>O/ano. Na propriedade estudada, as maiores emissões diretas de N<sub>2</sub>O foi de 73,18 kg N<sub>2</sub>O/ano para vacas em lactação confinadas e 44,43 kg N<sub>2</sub>O/ano para jovens criados a pasto. Dados da Embrapa (2010) indicam que as vacas em lactação são responsáveis por 70 Kg N<sub>2</sub>O/ano, enquanto os jovens são responsáveis por 40 Kg N<sub>2</sub>O/ano. Os valores observados na propriedade são superiores aos valores da literatura, sendo que essa variação pode ser atribuída a diferenças nas práticas de manejo, condições ambientais e características específicas da propriedade (EMBRAPA, 2015).

A Figura 9 apresenta as emissões diretas do gado confinado e o gado criado à pasto. Devido ao manejo de esterco diretamente no solo as emissões de N<sub>2</sub>O a partir dos processos de nitrificação representam as principais fontes de emissões da propriedade.

**Figura 9** - Contribuição de emissão N<sub>2</sub>O no tratamento de dejetos por tipo de sistema e animal.



Fonte: Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR, 2024.

L = lixiviado

G = Gasoso

D = direto

Os dados referentes às emissões indiretas de N<sub>2</sub>O pela deposição atmosférica e pelo lixiviado, conforme apresentados pela Embrapa (2015), são de 22,03 Gg e 82,60 Gg N<sub>2</sub>O, respectivamente. Na propriedade estudada, os valores observados para as emissões indiretas de N<sub>2</sub>O devido à deposição atmosférica e ao lixiviado são inferiores aos valores reportados pela Embrapa. O principal contribuinte para essas emissões é o rebanho de vacas em lactação mantidas em confinamento, seguido pelos jovens criados em pastagens. Notavelmente, as vacas em lactação confinadas são responsáveis pela maior quantidade de N<sub>2</sub>O emitida por ano na fazenda, em todas as três frações de nitrogênio.

A concentração de dejetos em áreas restritas e a manutenção frequente em condições anaeróbicas favorecem a formação de N<sub>2</sub>O durante a decomposição da matéria orgânica. A falta de oxigênio nesses ambientes estimula a atividade de microrganismos que convertem o nitrogênio presente nos dejetos em N<sub>2</sub>O (Kebreab et. al., 2023)

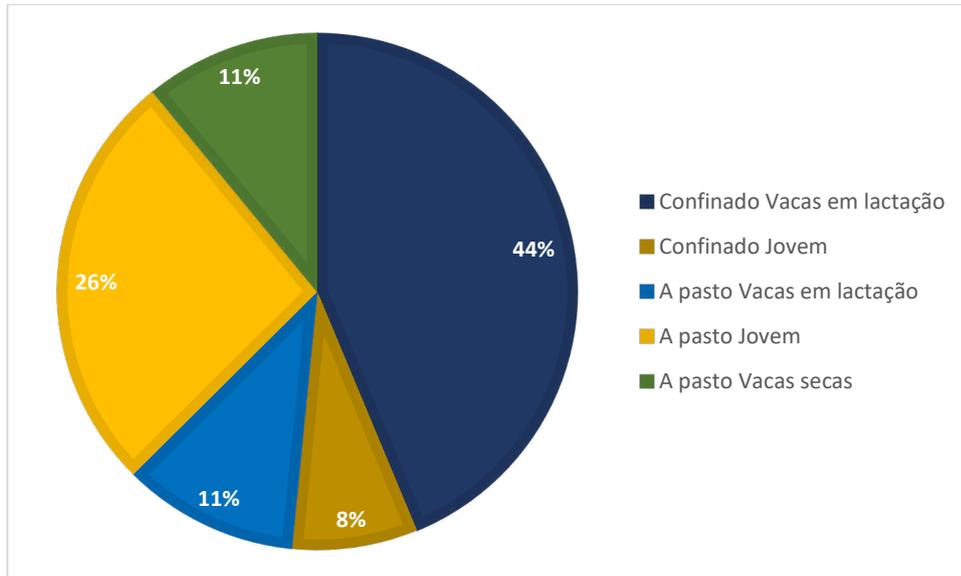
As dietas fornecidas ao gado em confinamento são geralmente formuladas para maximizar a produção de leite, o que resulta em uma maior ingestão de proteína. Conseqüentemente, a excreção de nitrogênio pelos animais também aumenta. O nitrogênio não utilizado pelas plantas é convertido em diversas formas, incluindo  $N_2O$ , durante os processos de mineralização e desnitrificação (Schrade et. al., 2023).

A falta de um manejo eficiente dos dejetos contribui significativamente para as emissões de  $N_2O$ . A ausência de práticas como a compostagem aeróbica, que promove a oxidação do nitrogênio e reduz a produção de  $N_2O$ , agrava o problema. Além disso, a aplicação de dejetos líquidos em pastagens sem as devidas precauções pode levar à volatilização do amônio e à sua subsequente conversão em  $N_2O$  (Rivera; Chará, 2021; Kebreab et. al., 2023).

As emissões de  $N_2O$  provenientes da produção animal contribuem para o aquecimento global e para a destruição da camada de ozônio. É fundamental que sejam adotadas medidas para mitigar essas emissões, como a otimização da dieta dos animais, a melhoria do manejo dos dejetos e a utilização de aditivos alimentares que reduzam a produção de  $N_2O$  (Schrade et. al., 2023).

Em termos de percentagem, as emissões diretas de  $N_2O$  da propriedade atribuídas ao gado confinado adulto lactante correspondem a 44% das emissões totais da propriedade. Por outro lado, as emissões provenientes de animais jovens criados a pasto representam 26% do total de emissões da propriedade. Esses dados destacam a contribuição significativa desses dois grupos de gado para as emissões totais de  $N_2O$  na propriedade, conforme Figura 10.

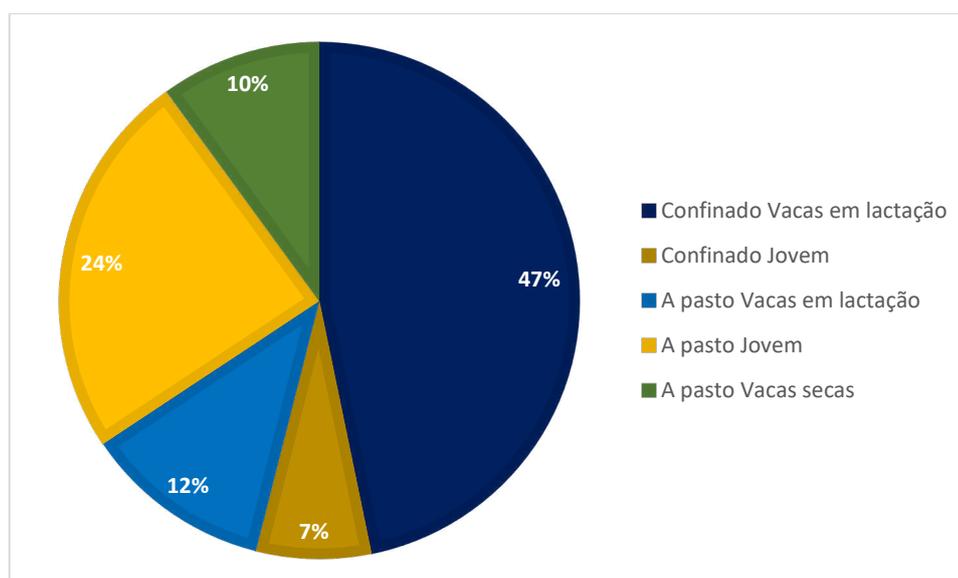
**Figura 10** - Contribuição emissões N<sub>2</sub>O direto por tipo de sistema e animal.



Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR, 2024.

As emissões indiretas de N<sub>2</sub>O devido à volatilização de N da gestão do esterco ocorrem devido à liberação de nitrogênio volátil a partir do esterco armazenado, que pode ser convertido em N<sub>2</sub>O na atmosfera posteriormente (EMBRAPA, 2015). Essa é uma fonte adicional e significativa de emissões de N<sub>2</sub>O relacionada à gestão do esterco. Quando se trata das principais categorias de emissões da propriedade, o gado confinado lactante e os animais jovens a pasto se destacam. A Figura 11 ilustra as porcentagens de emissões de cada categoria de gado na propriedade, evidenciando a diferença na contribuição entre os animais jovens criados a pasto e os confinados. As emissões dos animais adulto lactantes são aproximadamente quatro vezes maiores do que as dos animais adulto lactantes a pasto. No caso dos jovens, os animais criados a pasto contribuem com cerca de três vezes mais emissões do que os criados confinados.

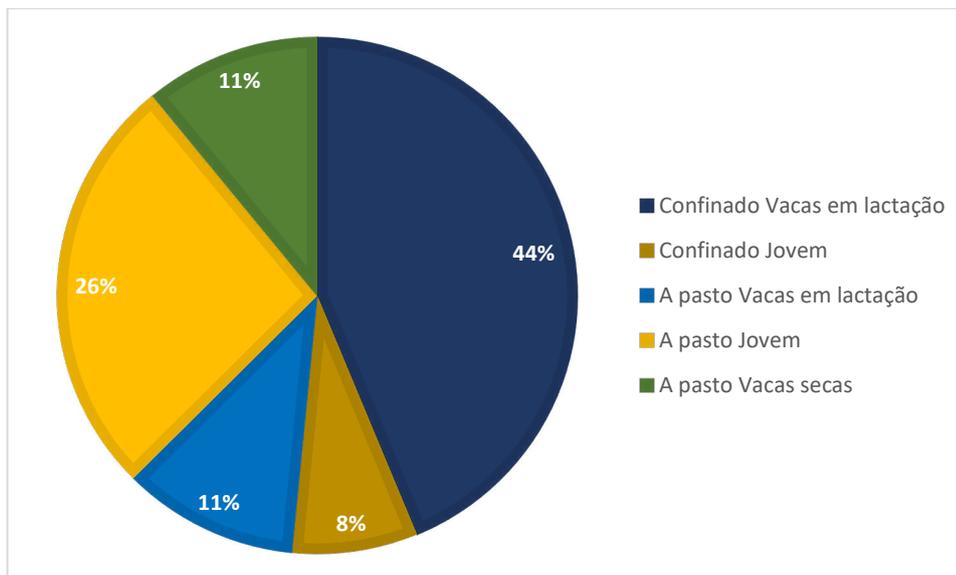
**Figura 11** - Contribuição emissões N<sub>2</sub>O volátil emitido por tipo de sistema e animal.



Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR, 2024.

Emissões indiretas de N<sub>2</sub>O devido à lixiviação e escoamento da gestão do esterco decorrem da lixiviação do nitrogênio presente no esterco, que pode se infiltrar no solo e eventualmente ser convertido em N<sub>2</sub>O (Embrapa, 2015). O escoamento também pode transportar nitrogênio para corpos d'água, onde pode contribuir para as emissões de N<sub>2</sub>O. Essa é outra importante fonte de emissões de N<sub>2</sub>O associada à gestão do esterco, além da volatilização de nitrogênio discutida anteriormente. O lixiviado gerado na propriedade vem da lavagem diária das áreas confinadas, onde o efluente líquido é coletado e despejado em uma lagoa que parte infiltra no solo e parte desagua em um pequeno córrego. A Figura 12 apresenta as contribuições em porcentagens de N<sub>2</sub>O lixiviado por categoria de gado, destacando que a categoria confinada é responsável por de 52% das emissões totais da propriedade. Isso ressalta a significativa contribuição das áreas confinadas para as emissões de N<sub>2</sub>O na propriedade.

**Figura 12** - Contribuição emissões N<sub>2</sub>O lixiviado emitido por tipo de manejo.



Fonte: ELABORADO PELO PRÓPRIO AUTOR, 2024.

Ao considerar os valores de emissão da propriedade em comparação com as emissões nacionais do setor agropecuário (MCTI, 2020), observa-se que estas são substancialmente menores. No entanto, ao analisar as principais fontes de emissão na propriedade, fica evidente que as contribuições mais significativas provêm das emissões de N<sub>2</sub>O associadas ao gado confinado. As disparidades entre os valores de emissão por tipo de manejo do gado indicam que certas práticas de manejo podem promover uma redução das emissões.

As emissões diretas representaram 62% do total, enquanto as emissões indiretas corresponderam a 38%, divididas em 8% devido à deposição atmosférica e 30% devido à lixiviação, em relação às emissões totais em Solos Manejados (MAPA/SENAR, 2020). No mesmo período, constatou-se que a maior fonte de emissão de uma única categoria estava relacionada aos animais em pastagem, devido à deposição direta de dejetos no solo, contribuindo com 34% das emissões do subsetor, sendo a categoria animal de bovino de corte a mais expressiva (MAPA/SENAR, 2020). Para a propriedade, as emissões diretas foram as que mais contribuíram para o total de emissões, com o gado confinado liderando seguido pelo gado jovem em pasto.

A correta destinação dos dejetos e efluentes provenientes da criação de animais estabulados é crucial para garantir a sustentabilidade ambiental das propriedades rurais (MAPA/ACS, 2012).

Além de mitigar a emissão de metano, um importante problema ambiental, o tratamento adequado desses resíduos pode proporcionar benefícios econômicos aos agricultores, como a produção de composto orgânico e a geração de energia por meio do aproveitamento do biogás (MAPA/ACS, 2012).

Os processos de biodigestão e compostagem são soluções conhecidas que reduzem os custos de produção ao evitar o consumo de energia e insumos químicos, além de minimizar os impactos ambientais e a emissão de gases de efeito estufa (MAPA/ACS, 2012). Propõe-se, portanto, investimentos e infraestrutura adequados para a adoção dessas tecnologias de tratamento de dejetos e efluentes de animais, especialmente para agricultores, cooperativas e associações envolvidas na suinocultura, bovinocultura e avicultura. A quantidade significativa de N<sub>2</sub>O emitida pela propriedade destaca a necessidade de investimentos no tratamento de efluentes líquidos e sólidos, visando à sustentabilidade da propriedade.

#### **5.4. Tecnologias para mitigação das emissões de GEE associada à bovinocultura leiteira**

Os bovinos emitem metano (CH<sub>4</sub>) tanto pela fermentação entérica quanto pela decomposição do esterco, com o gás permanecendo na atmosfera por 10 a 12 anos antes de se decompor. A produção de leite enfrenta o desafio de reduzir suas emissões de GEE enquanto aumenta a produção para atender à demanda. Além do impacto ambiental, esses gases representam perda de energia e nitrogênio, essenciais para a produção de leite (CCAC, 2021).

Sendo assim, o manejo da dieta do gado são cruciais para controlar as emissões de metano. Dietas balanceadas, com alimentos menos fibrosos ou mais digestíveis, e práticas como o uso de aditivos alimentares e seleção genética, podem reduzir as emissões. Sistemas integrados, com componentes arbóreos, também ajudam a mitigar as emissões de metano ao sequestrar carbono no solo e na vegetação (Brasil, 2012).

A inclusão de coprodutos na alimentação de ruminantes, em substituição aos alimentos convencionais, pode melhorar a qualidade da produção nacional, atender às necessidades nutricionais dos animais e, potencialmente, reduzir a emissão de gases poluentes. Estudos realizados por Medeiros et al. (2015), Moreira et al. (2014) e Moraes et al. (2015) demonstraram que a substituição da dieta de ruminantes pelo coproduto da moringa resultou em uma redução de cerca de 50% na produção de gases após 48 horas de incubação, além de um aumento na digestibilidade em todos os experimentos conduzidos.

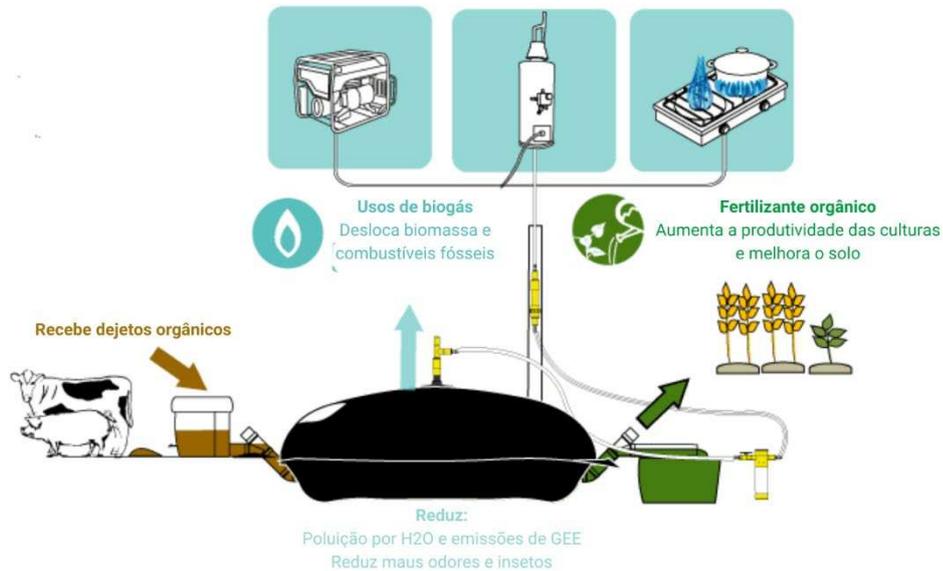
Qualquer estratégia nutricional ou de manejo que aumente a produção de leite por vaca ou a eficiência alimentar reduz as emissões de metano ruminal. Melhorar a digestibilidade da dieta, reduzir as emissões entéricas de metano e otimizar o uso de nitrogênio pelos ruminantes são objetivos-chave dos nutricionistas (Dey et. al., 2021). O uso de aditivos visa aumentar a eficiência alimentar e promover a saúde e o metabolismo dos animais (Oliveira et. al., 2019), diluindo a produção de metano com o aumento do volume de leite produzido.

O uso de aditivos na alimentação de ruminantes sido investigadas para reduzir as emissões de CH<sub>4</sub> entérico. Moate et al. (2014) observaram uma redução de 20% nas emissões de CH<sub>4</sub> com a suplementação da dieta que contém taninos. Tedeschi et al. (2003) relataram que ionóforos podem reduzir as emissões em 25%, enquanto Odongo et al. (2007) demonstraram que a monensina diminuiu a produção de metano de 7 a 9. Martin et al. (2010) constataram uma queda média de 3,8% no metano com cada 1% de gordura suplementar na dieta, dependendo da natureza do ácido graxo. Além disso, pesquisas sobre leveduras mostraram reduções de até 10% nas emissões de metano com o uso de cepas selecionadas (Beauchemin et al., 2012; Chung et al., 2011).

Outra forma de melhorar o desempenho da produção pela fórmula "produção x energia despendida" é através do melhoramento genético, que proporciona maior eficiência na criação e melhor retorno econômico. A emissão de metano varia de acordo com a quantidade e qualidade do alimento, digestibilidade e condições de criação. Melhorias em índices zootécnicos, como abate precoce, menor intervalo entre partos e bem-estar animal, também contribuem para a redução de emissões de GEE (Beraldi, 2022).

Em relação às emissões do manejo de dejetos, em estudo qualitativo, com entrevistas e observações em propriedades rurais, Siatkowski et. al., 2022 mostraram que o biodigestor é eficiente na remoção de carga orgânica, promovendo sustentabilidade em três dimensões: melhora a qualidade de vida das famílias agropecuaristas, gera biogás e biofertilizante, e contribui para a preservação ambiental, evitando a contaminação do solo e da água, além de reduzir o uso de fontes de energia não renováveis (Figura 13). O biodigestor também auxilia na redução de GEE ao capturar o metano dos dejetos animais. O biofertilizante resultante melhora a absorção de nutrientes no solo, sendo menos agressivo ao meio ambiente do que fertilizantes nitrogenados, contribuindo para uma agricultura mais sustentável. Embora não elimine completamente as emissões, o biodigestor ajuda a reduzir significativamente o metano, contribuindo para mitigar as mudanças climáticas.

**Figura 13 - Benefícios do uso de biodigestor.**



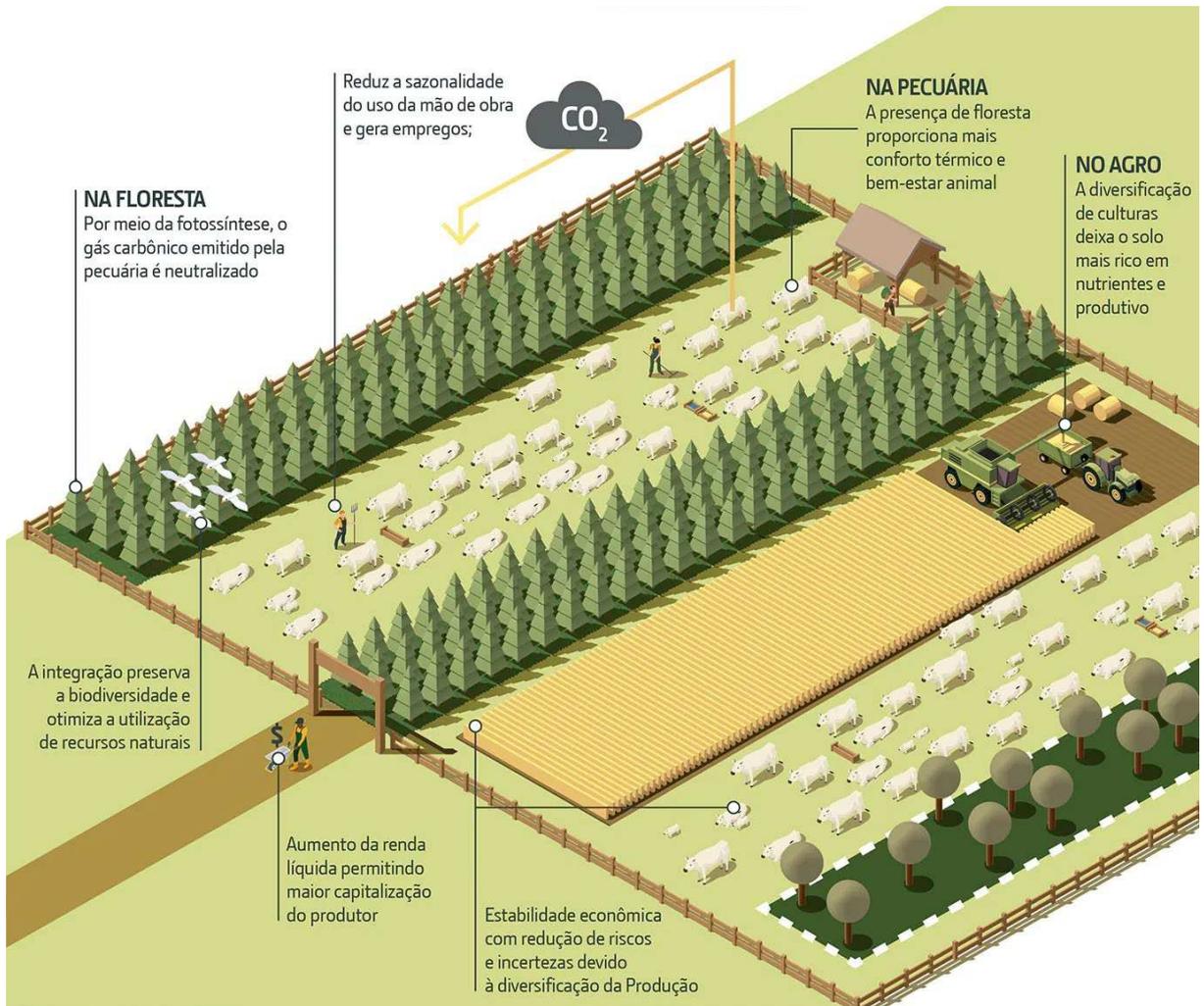
Fonte: Adaptado de BeefPoint, 2017.

Além disso, o manejo de animais em pastagens integradas a sistemas de plantio direto tem se mostrado uma estratégia eficaz para promover a sustentabilidade na produção de leite. Práticas como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) têm demonstrado benefícios significativos para o ciclo de nutrientes, a qualidade do solo e a biodiversidade, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e a melhoria da eficiência no uso de recursos naturais (Figura 14) (Duarte et. al., 2018).

A ILPF permite a otimização do uso da terra, a diversificação da produção e a redução da dependência de insumos externos (Duarte et al., 2018). A cobertura do solo proporcionada pelas culturas e pastagens reduz a erosão, aumenta a infiltração de água e a matéria orgânica do solo, o que contribui para a melhoria da fertilidade e da estrutura do solo (Rocha, 2021).

Além disso, o retorno dos dejetos animais ao solo na forma de adubo melhora a disponibilidade de nutrientes para as plantas, reduzindo a necessidade de fertilizantes sintéticos e diminuindo os custos de produção. A integração de leguminosas nas pastagens também contribui para a fixação biológica de nitrogênio, enriquecendo o solo e diminuindo a dependência de fertilizantes nitrogenados (Rocha, 2021).

Figura 14 - Esquematização ILPF e seus benefícios.



Fonte: JOHN DEERE, 2019.

## 6. CONCLUSÃO

A análise das emissões de metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) na propriedade estudada revela a predominância dos sistemas a pasto como maiores contribuintes para as emissões de GEE, especialmente devido à fermentação entérica e ao manejo inadequado dos dejetos. O gado criado a pasto apresentou emissões mais elevadas de  $\text{CH}_4$ , tanto pela fermentação entérica, responsável por 59% do total de emissões nesse processo, quanto pelo manejo de dejetos, que respondeu por 66% do total de emissões do manejo, em comparação com o gado confinado, o que se deve principalmente à dieta fibrosa e menos digestível, bem como à menor eficiência de manejo. As vacas em lactação a pasto foram responsáveis pelas maiores emissões entéricas ( $74,03 \text{ kg.CH}_4.\text{cabeça}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), enquanto o gado jovem confinado também contribuiu significativamente para as emissões de metano ( $59,42 \text{ kg.CH}_4.\text{cabeça}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) devido às suas dietas mais energéticas.

Em relação ao manejo de dejetos, observou-se que as emissões de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  foram mais intensas em animais a pasto, dada a exposição direta dos dejetos ao solo, sem tratamento adequado. As vacas em lactação confinadas, por outro lado, apresentaram uma maior contribuição para as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$ , refletindo a necessidade de um manejo mais eficiente dos dejetos, como a adoção de tecnologias de mitigação.

Em sistemas de confinamento, como o freestall, os dejetos são normalmente coletados e armazenados em estruturas designadas. Essa abordagem de manejo mais controlado possibilita a utilização de tecnologias de tratamento que contribuem para a redução das emissões de GEE.

Esses resultados reforçam a importância de melhorar o manejo da alimentação e dos dejetos, com o objetivo de mitigar as emissões de GEE na pecuária leiteira. Práticas como a melhoria da qualidade das pastagens, o uso de aditivos alimentares, e a implementação de sistemas de tratamento de dejetos são medidas essenciais para reduzir a pegada de carbono da produção animal e promover uma pecuária mais sustentável.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14.040: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura.** Rio de Janeiro, 2014.

BEAUCHEMIN, K. A. et. al. Invited review: Current enteric methane mitigation options. **Journal of Dairy Science**, v. 105, ed. 12, p. 9297-9326, Dez. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22091>.

BEAUCHEMIN, K.A. **Dietary mitigation of enteric methane from cattle.** In: Pereira, O. Management of Pasture. Viçosa, Minas Gerais. p.209-224, 2012.

BESSEN, M. R., RIBEIRO, R. H., MONTEIRO, A. N. T. R., IWASSAKI, G. S., PIVA, J. T. Práticas conservacionistas do solo e emissão de gases do efeito estufa no Brasil. **Scientia Agropecuária**, v. 9, n.3, p. 429-439, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v9n3/a15v9n3.pdf>.

BEEFPOINT. **Companhia mexicana de biodigestores converte esterco em biogás e fertilizantes orgânicos.** Out. 2017. Disponível em: <https://beefpoint.com.br/companhia-mexicana-de-biodigestores-converte-esterco-em-biogas-e-fertilizantes-organicos/>.

BESSEN, M. R., RIBEIRO, R. H., MONTEIRO, A. N. T. R., IWASSAKI, G. S., PIVA, J. T. Práticas conservacionistas do solo e emissão de gases do efeito estufa no Brasil. **Scientia Agropecuária**, v. 9, n.3, p. 429-439, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v9n3/a15v9n3.pdf>.

BERALDI, T. **Melhoramento genético auxilia na redução de Gases de Efeito Estufa da pecuária.** Dez. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/melhoramento-genetico-auxilia-na-reducao-de-gases-de-efeito-estufa-da-pecuaria>.

BRASIL. **Decreto Lei nº 9.064**, de 31 de maio de 2017. Diário Oficial da União - Edição Extra de 31 de maio de 2017. p. 11, col. 1. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/norma/17699621/publicacao/17699630>.

BRASIL. **LEI Nº 12.187, DE 29 DE DEZEMBRO DE 2009.** Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Brasília, DF, 2009.

CCAC, Climate and Clean Air Coalition. **Global Methane Assessment: Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions**. Nairobi: United Nations Environment Programme. Paris, France, 2021. Disponível em: <https://www.ccacoalition.org/en/resources/global-methane-assessment-full-report>.

CHUNG, Y.H., WALKER, N. D., MCGINN, S. M., BEAUCHEMIN, K. A. Differing effects of 2 active dried yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) strains on ruminal acidosis and methane production in nonlactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**. v. 94, p. 2431–2439, 2011.

CNA - Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. **PIB do Agronegócio 2022**, mar. 2023. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/publicacoes/apos-alcancar-patamar-recorde-em-2021-pib-do-agronegocio-recua-4-22-em-2022>.

CNMP, Conselho Nacional do Ministério Público. **INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA**. 2022. Disponível em: [www.cnmp.mp.br/portal/images/CMA/relatorios/gases\\_efeito\\_estufa.pdf](http://www.cnmp.mp.br/portal/images/CMA/relatorios/gases_efeito_estufa.pdf).

DELLAGNEZZE, R. 50 ANOS DA CONFERÊNCIA DE ESTOCOLMO (1972-2022) REALIZADA PELAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE HUMANO. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [S. l.], p. 12–146, 2022. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/6769>.

DEY, A.; ATTRI, K.; DAHIYA, S. S.; PAUL, S. S. Influence of dietary phyto-genic feed additives on lactation performance, methane emissions and health status of Murrah buffaloes (*Bubalus bubalis*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 2021.

DUARTE, P. M., SANTANA, V. T. P., DALMAS, A. D., FERRI, I. E. B. Integração Lavoura-Pecuária (ILP): uma Revisão Literária. **UNICIÊNCIAS**, v. 22, n. 2, p. 106-109, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17921/1415-5141.2018v22n2p106-109>.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Pecuária de leite no Brasil: cenários e avanços tecnológicos** / Duarte Vilela ...[et al.], editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/164236/1/Pecuaria-de-leite-no-Brasil.pdf>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Setor agropecuária: emissões de óxido nitroso de solos agrícolas e de manejo de dejetos**. In: \_\_\_\_\_. Terceiro inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2015. Disponível em: <https://repositorio.mcti.gov.br/handle/mctic/5288>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Setor agropecuária: emissões de metano por fermentação entérica e manejo de dejetos de animais.** In: \_\_\_\_\_. Terceiro inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2015. Disponível em: <https://repositorio.mctic.gov.br/handle/mctic/5290?mode=full>.

GARCIA, Junior Ruiz; VAHDAT, VahídShaikhzadeh; HARFUCH, Leila; ANTONIAZZI, Laura Barcellos; BUAINAIN, Antônio Márcio. Agricultura familiar de baixa emissão de carbono no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, Ano XXXI, n. 4, p. XX-XX, out./nov./dez. 2022.

GERBER, P. J.; HENDERSON, B.; MOTTET, A. **Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production: a review of technical options for non-CO<sub>2</sub> emissions.** Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2013.

HERRERO, M.; GERBER, P.; VELLINGA, T.; GARNETT, T.; LEIP, A.; OPIO, C.; WESTHOEK, H.; THORNTON, P.; OUELLETTE, L. A.; TOUSSAINT, M.; MCALLISTER, T. A. Livestock and greenhouse gas emissions: The importance of getting the numbers right. **Animal Feed Science and Technology**, v. 166-167, p. 779-792, 2011.

HRISTOV, A. N, MELGAR, A., WASSON, D., ARNDT, C. Symposium review: Effectiveness of nutritional strategies to mitigate enteric methane in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 105, ed. 10, p. 8543-8557, Out. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21398>.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuario.html?edicao=35529&t=series-historicas>.

**INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION (IDF).** *The World Dairy Situation 2022.* Disponível em: <https://www.fil-idf.org/>.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Fourth Assessment Report (AR4).** 2007. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar4/>.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. **Chapter 10: Emissions from livestock and manure management.** pp.10.1-10.84, 2006.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. IPCC, 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>.

KEBREAB, E., Bannink, A., Pressman, E. M., Walker, N., Karagiannis, A., van Gastelen, S., Dijkstra, J. A meta-analysis of effects of 3-nitrooxypropanol on methane production, yield, and intensity in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 106, p. 927-936, Feb. 2023. Disponível em: [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(22\)00710-X/fulltext](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(22)00710-X/fulltext).

KNAPP, J. R.; LAUR, G. L.; VADAS, P. A.; WEISS, W. P.; TRICARICO, J. M. 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, 2014.

MADARI, B.E.; CUADRA, S.V.; OLIVEIRA, P.P.A.; HIGA, R.C. V.; RAMOS, N.P.; ANDRADE, C.A. de; KEMENES, A.; GONDIM, R.S. O papel da agricultura na mitigação das emissões de gases de efeito estufa. Ação contra a mudança global do clima, **Embrapa Arroz e Feijão**, Santo Antônio do Goiás, p. 59-68, cap. 5, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1091068/o-papel-da-agricultura-na-mitigacao-das-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa>.

MANZATTO, C. V., ARAUJO, L. S., VICENTE, L. E., VICENTE, A. K., PEROSA, B. B. Monitoramento da mitigação das emissões de carbono na agropecuária. **AgroAnalysis**, v. 38, n. 3, mar. 2018. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/agroanalysis/article/view/78230>.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, DF, 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/valor-bruto-da-producao-agropecuaria-vbp>.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)**, Brasília: MAPA/ACS, 2012. 173 p. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais/publicacoes/download.pdf>.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Coletânea dos Fatores de Emissão e Remoção de Gases de Efeito Estufa da Agricultura Brasileira**. Brasília, 2020. Disponível em: [https://cnabrazil.org.br/assets/arquivos/MIOLO\\_agricultura\\_grafica\\_21.12.pdf](https://cnabrazil.org.br/assets/arquivos/MIOLO_agricultura_grafica_21.12.pdf).

MAPA - Ministério da Agricultura e Pecuária. **Plano ABC e ABC+**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais>.

MARTIN, C.; MORGAVI, D.P., DOUREA, M. Methanemission in ruminants: from micro to the farm scale. **Animal**. v.4, n.3, p.351-365, 2010

MÁS ROSA, S.; CARDOSO VENTURA, A.; SILVEIRA ANDRADE, J. C.; OLIVEIRA SANTOS, J.; ALEXSANDRO NOVAES DAS VIRGENS, T. Emissões de gases de efeito estufa do setor resíduos de salvador: análise comparativa dos resultados e lacunas encontradas no primeiro e segundo inventário. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 51–66, 2022. DOI: 10.9771/gesta.v0i2.48664. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/48664>

MCTI- Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Quarta comunicação nacional do Brasil à UNFCCC**. 2020. Disponível em: <https://repositorio.mctic.gov.br/handle/mctic/4782>.

MCTI, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**. 2021. Disponível em: [https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/mecanismo\\_de\\_desenvolvimento\\_limpo/Mecanismo\\_de\\_Desenvolvimento\\_Limpo.html](https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/mecanismo_de_desenvolvimento_limpo/Mecanismo_de_Desenvolvimento_Limpo.html)

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Resultados do Inventário Nacional De Emissões De Gases De Efeito Estufa Por Unidade Federativa**. Ed. 1.1, Brasil, 2022. Disponível em: <https://repositorio.mcti.gov.br/handle/mctic/4967>.

MEDEIROS, F.F; SILVA, A.M.A; CARNEIRO, H. et al. Degradabilidade e produção de gases *in vitro* de fontes proteicas alternativas na alimentação de ruminantes. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.67, n.2, p.519-526, 2015.

MORAIS, R. K. O.; SILVA, A. M. A.; BEZERRA, L.R. et al. In vitro degradation and total gas production of byproducts generated in the biodiesel production chain. **Acta scientiarum animal science**, v. 37, n. 2, p. 143-148, Apr.-June, 2015.

MOREIRA, M. N; SILVA, A.M.A; CARNEIRO, H. et al. In vitro degradability and total gas production of biodiesel chain byproducts used as a replacement for cane sugar feed. **Acta scientiarum Zootecny**, v. 36, p.399, 2014.

MMA - Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **NDC - a ambição climática do Brasil**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/mudanca-do-clima>.

MOATE, P.J. Grapemarc reduces methane emissions when fed to dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.97, n.8, p.5073-5087, Ago. 2014.

NETO, C. R. Qual é a participação da agricultura familiar na produção de alimentos no Brasil e em Rondônia. **Embrapa**, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/55609579/artigo---qual-e-a-participacao-da-agricultura-familiar-na-producao-de-alimentos-no-brasil-e-em-rondonia>.

ODONGO, N. E. et al. Long Term Effects of Feeding Monensin on Methane Production in Lactating Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**, v.90, p.1781–1788, 2007.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **A ONU e o meio ambiente**. Set. 2020. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/91223-onu-e-o-meio-ambiente>.

OLIVEIRA, O. A. M.; AMARAL, A. das G.; PEREIRA, K. A.; CAMPOS, J. C. D.; TAVEIRA, R.Z. Utilização de aditivos modificadores da fermentação ruminal em bovinos de corte. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 1, p. 287-311, 2019.

PATRA, A. K. The effect of dietary fat on methane emissions, and its other effects on digestibility, rumen fermentation and lactation performance in cattle: A meta-analysis. **Livestock Science**, v. 155, p. 244-254, Ago. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.05.023>.

POTENZA, R. F et al. Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil / 1970-2021. Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), **Observatório do Clima, Brasil**, 2023. Disponível em: <https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2023/03/SEEG-10-anos-v4.pdf>.

RIVERA, J. E., CHARÁ, J. CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O Emissions From Cattle Excreta: A Review of Main Drivers and Mitigation Strategies in Grazing Systems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.657936>.

ROCHA, D. T.; CARVALHO, G. R.; RESENDE, J. C. de. **Cadeia produtiva do leite no Brasil: produção primária**. Circular Técnica, n. 123. Juiz de Fora, MG: Embrapa, agosto 2020. ISSN 1678-037X. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215880/1/CT-123.pdf>

ROCHA, J. V. F. **UTILIZAÇÃO DA INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA NA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS**. (Trabalho de Conclusão de Curso). Graduação em Zootecnia. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2021. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/3345/1/TCC%20Jo%C3%A3o%20Vitor%20%281%29.pdf>.

SCHRADE, S. ZEYER, K., MOHN, J., ZAHNER, M. Effect of diets with different crude protein levels on ammonia and greenhouse gas emissions from a naturally ventilated dairy housing. **Science of The Total Environment**, v. 896, p. 165027, Out. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165027>.

SIATKOWSKI, A., Soares, J., Cipriano, S. A., Doliveira, S. L. D., Massuga, F. USO DE BIODIGESTORES EM PROPRIEDADES RURAIS PARA SUSTENTABILIDADE E COMO FERRAMENTA MITIGADORA DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE). **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 51-71, dez. 2022.

TOMICH, T. R.; DE PAULA, V. R.; DE CARVALHO, B. C.; TONUCCI, R. G.; MÜLLER, M. D.; PEREIRA, L. G. R. Por que e como reduzir a pegada de carbono do leite. In: ANUÁRIO LEITE 2024: Avaliação Genética Multirracial. Juiz de Fora: **Embrapa Gado de Leite**, 2024. p. 105-111.

TSETEN T, Sanjorjo RA, Kwon M, Kim SW.  
Strategies to Mitigate Enteric Methane Emissions from Ruminant Animals.  
**Journal Microbiol Biotechnol**, v. 32, n. 3, p. 269-277, Mar. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.4014/jmb.2202.02019>.

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change. **Kyoto Protocol To The United Nations Framework Convention On Climate Change**. 1998. Disponível em: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>.

UNFCCC - UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Paris Agreement, 2015**. Disponível em: [https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf).

Zaparolli, D.; Vasconcelos, Y. Manejo do pasto e mudanças na alimentação podem reduzir o impacto do rebanho bovino no clima. **Pesquisa FAPESP**, n. 314, ano 23, abr. 2022.