

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**ALEXANDRE OLIVEIRA DE SOUZA JUNIOR**

**O CENÁRIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PRODUÇÃO BOVINA NA  
MESORREGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO**

JUIZ DE FORA

2024

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**  
**DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**ALEXANDRE OLIVEIRA DE SOUZA JUNIOR**

**O CENÁRIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PRODUÇÃO BOVINA NA  
MESORREGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito para obtenção do título de mestre em Geografia na área de concentração: Dinâmicas Espaciais na linha de pesquisa socioambientais.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Sanches

JUIZ DE FORA

2024

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Oliveira de Souza Júnior, Alexandre.

O cenário de mudanças climáticas e produção bovina na mesorregião do Triângulo Mineiro / Alexandre Oliveira de Souza Júnior. -- 2024.

113 p.

Orientadora: Fábio de Oliveira Sanches

Coorientadora: Cássia de Castro Martins Ferreira

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2024.

1. Emissões de metano. 2. Fermentação entérica. 3. Triângulo Mineiro. 4. Mudanças Climáticas . 5. Pecuária bovina. I. de Oliveira Sanches, Fábio , orient. II. de Castro Martins Ferreira, Cássia , coorient. III. Título.

**ALEXANDRE OLIVEIRA DE SOUZA JUNIOR**

**O CENÁRIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PRODUÇÃO BOVINA NA  
MESORREGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO**

DISSERTAÇÃO apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM GEOGRAFIA.

JUIZ DE FORA, 22/08/2024

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

**Prof. Dr. Fábio de Oliveira Sanches (UFJF) (orientador)**

---

**Prof. Dr. Cássia de Castro Martins Ferreira (UFJF)**

---

**Prof. Dr. Charlei Aparecido da Silva (UFGD)**

## AGRADECIMENTOS

Gostaria, primeiramente, de expressar minha profunda gratidão a Deus, cujo amparo tem sido uma constante fonte de conforto ao longo desses anos. A Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) merece meu sincero agradecimento por se tornar meu lar ao longo dessa jornada acadêmica. Aos dedicados professores que moldaram meu caminho com sabedoria e expertise, e a todos os colaboradores que, sem dúvida, desempenharam um papel essencial nessa trajetória.

Não posso deixar de mencionar o apoio inabalável dos meus pais e avós, cuja presença e incentivo foram fundamentais. Sem eles, certamente, essa conquista não seria possível. Um agradecimento especial à minha namorada, Giovanna, cuja luz iluminou os momentos difíceis ao longo deste ano, dando-me suporte nas crises e tornando-se uma presença crucial em minha vida. À minha sogra e ao meu sogro, expresso minha gratidão por todo o incentivo ao longo desses anos.

Meus amigos, verdadeiros pilares de força ao longo dessa jornada, merecem um reconhecimento especial. Em particular, quero agradecer aos amigos feitos dentro do programa, como a Aline e o Pietro, cuja amizade fortaleceu meu percurso. Um agradecimento especial ao meu amigo Marcelo, que não só me impulsionou a participar da seletiva do mestrado, mas também me ofereceu todo o suporte possível. Sem essas pessoas incríveis, nada disso seria alcançado.

Nada é mais gratificante do que dedicar-se à pesquisa e contribuir para a sociedade como resultado desse investimento. Expresso minha gratidão ao meu orientador Fábio pelas valiosas trocas e pelo suporte incondicional nos momentos de necessidade. Esta pesquisa não teria sido possível sem o apoio crucial da CAPES, que proporcionou dedicação exclusiva ao meu trabalho.

Neste momento de reflexão, agradeço a todos que, de alguma forma, fizeram parte desta jornada. Cada gesto, palavra e apoio foram fundamentais para alcançar este marco. Que este trabalho possa, de alguma maneira, retribuir à sociedade o investimento em minha formação.

## RESUMO

O estudo objetiva estimar as emissões de metano provenientes da fermentação entérica na mesorregião do Triângulo Mineiro e discutir suas relações com o clima e o meio ambiente, considerando o contexto global das mudanças climáticas e o aumento da criação de gado bovino. A pesquisa aborda a trajetória histórica da pecuária, a caracterização geográfica do Triângulo Mineiro, a relevância do metano, e o impacto das mudanças climáticas. A metodologia usada para quantificação das emissões permite uma análise detalhada dos impactos ambientais, equilibrando a importância econômica da pecuária com a urgência da mitigação ambiental. Conclui-se com propostas sustentáveis de mitigação para a produção bovina na região, e espera-se que esta pesquisa agregue numa percepção da produção animal que busque visar como a escolha de nossas opções alimentares contribui para mitigar os problemas ambientais, tornando assim uma discussão muito urgente no âmbito ambiental e social.

**Palavras Chaves: Emissões de metano; Fermentação entérica; Triângulo Mineiro; Mudanças climáticas; Pecuária bovina**

## ABSTRACT

The study aims to estimate methane emissions from enteric fermentation in the Triângulo Mineiro region and discuss their relationships with climate and the environment, considering the global context of climate change and the increase in cattle farming. The research covers the historical trajectory of livestock farming, the geographical characterization of the Triângulo Mineiro, the relevance of methane, and the impact of climate change. The methodology used for quantifying emissions allows for a detailed analysis of environmental impacts, balancing the economic importance of cattle farming with the urgency of environmental mitigation. The study concludes with sustainable mitigation proposals for cattle production in the region, hoping to contribute to an understanding of how our dietary choices can help address environmental issues, making this an urgent discussion within the environmental and social spheres.

**Keywords: Methane emissions; Enteric fermentation; Triângulo Mineiro; Climate change**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Penetração do gado no Brasil.....	18
Figura 2 -Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba – MG.....	23
Figura 3 - Bovinos (Bois e Vacas) - Tamanho do rebanho (2021).....	44
Figura 4 - Processo da emissão de metano por fermentação entérica.....	48
Figura 5 - Esquema de produção de metano por fermentação ruminal.....	50
Figura 6 - Microrregião de Ituiutaba.....	63
Figura 7 - Microrregião de Uberlândia.....	66
Figura 8 - Microrregião de Patrocínio.....	68
Figura 9 - Microrregião de Patos de Minas.....	71
Figura 10 - Microrregião de Frutal.....	73
Figura 11 - Microrregião de Uberaba.....	76
Figura 12 - Microrregião de Araxá.....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Gases atmosféricos, fontes e contribuição para o aumento do efeito estufa.....	40
Tabela 2 - Equivalência do CH <sub>4</sub> em relação ao CO <sub>2</sub> , tem temas de potencial de aquecimento global (GWP) e potencial de Mudança na Temperatura Global (GTP).....	42
Tabela 3 - Rebanho mundial.....	43
Tabela 4 - Tamanho dos maiores rebanhos por estado.....	44
Tabela 5 - Composição típica dos gases do rúmen.....	49
Tabela 6 - Categorias bovinas consideradas no cálculo das emissões de CH <sub>4</sub> decorrentes da Fermentação Entérica.....	54
Tabela 7 - Microrregião de Ituiutaba.....	64
Tabela 8 - Microrregião de Uberlândia.....	66
Tabela 9 - Microrregião de Patrocínio.....	69
Tabela 10 - Microrregião de Patos de Minas.....	71
Tabela 11 - Microrregião de Frutal.....	74
Tabela 12 - Microrregião de Uberaba.....	76
Tabela 13 - Microrregião de Araxá.....	79

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Aumento da temperatura média de 1850 a 2021.....	27
Gráfico 2 - Emissões e aquecimento esperado para o Planeta Terra até 2100.....	28
Gráfico 3 - Fermentação Entérica de 1970 a 2022 (Brasil).....	61
Gráfico 4 - Fermentação Entérica de 1970 a 2022 (Minas Gerais).....	62
Gráfico 5 - Fermentação Entérica de 1970 a 2022 (Ituiutaba).....	65
Gráfico 6 - Fermentação Entérica de 1970 a 2022 (Uberlândia).....	67
Gráfico 7 - Fermentação Entérica de 1970 a 2022 (Patrocínio).....	70
Gráfico 8 - Fermentação Entérica de 1970 a 2022 (Patos de Minas).....	72
Gráfico 9 - Fermentação Entérica de 1970 a 2022 (Frutal).....	75
Gráfico 10 - Fermentação Entérica de 1970 a 2022 (Uberaba).....	77
Gráfico 11 - Fermentação Entérica de 1970 a 2022 (Araxá).....	80
Gráfico 12 - Emissão de metano de 1970 a 2022 no Triângulo Mineiro por Microrregião....	81

## LISTA DE SIGLAS

CH<sub>4</sub>: Metano

CFC: Clorofluorcarboneto

CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono

FAO: Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

GEE: Gases de efeito estufa

GTP: Global Temperature Change Potential

GWP: Global Warming Potential

H<sub>2</sub>O: Água

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INEP: Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira

IPCC: Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima

IPESA: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

MAPA: Ministério da Agricultura e Pecuária

MCTI: Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações

Mt: Milhões de toneladas

N<sub>2</sub>O: Óxido nitroso

NDC: Contribuição Nacionalmente Determinada

O<sub>3</sub>: Ozônio

OMM: Organização Meteorológica Mundial

ONU: Organização das Nações Unidas

PAG: Potencial de aquecimento global

PIB: Produto Interno Bruto

PNUMA: Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

PPM: Produção da Pecuária Municipal

PRODECER: Programa de Desenvolvimento do Cerrado

POLOCENTRO: Programa de Desenvolvimento dos Cerrados

SEEG: Sistema de Estimativa de Emissão de Gases de Efeito Estufa

UFJF: Universidade Federal de Juiz de Fora

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>2 BRASIL: UM PAÍS PECUARISTA</b>	<b>16</b>
2.1 PECUÁRIA COLONIAL	16
2.2 DISPERSÃO PARA O TRIÂNGULO MINEIRO	19
<b>3 CARACTERIZAÇÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO</b>	<b>23</b>
<b>4 AQUECIMENTO GLOBAL</b>	<b>26</b>
<b>5 MUDANÇAS CLIMÁTICAS ANTROPOGÊNICAS</b>	<b>31</b>
<b>6 METANO</b>	<b>40</b>
6.1 VISÃO GERAL	40
6.2 O METANO NA PECUÁRIA	43
6.3 FERMENTAÇÃO ENTÉRICA BOVINA	47
<b>7 MÉTODO DE ANÁLISE</b>	<b>52</b>
7.1 CÁLCULO	53
<b>8 RESULTADOS</b>	<b>60</b>
8.1 MICRORREGIÃO DE ITUIUTABA	63
8.2 MICRORREGIÃO DE UBERLÂNDIA	66
8.3 MICRORREGIÃO DE PATROCÍNIO	68
8.4 MICRORREGIÃO DE PATOS DE MINAS	71
8.5 MICRORREGIÃO DE FRUTAL	73
8.6 MICRORREGIÃO DE UBERABA	76
8.7 MICRORREGIÃO DE ARAXÁ	78
8.8 PANORAMA GERAL	81
<b>9 PROPOSTAS MITIGADORAS</b>	<b>85</b>
9.1 VEGANISMO	85
9.2 POLÍTICA PÚBLICAS	86
9.3 ZONEAMENTO AGROPECUÁRIO E AGROCLIMÁTICO	87
9.4 VIABILIZAR E ARTICULAR MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIAS (TT) PARA ADOÇÃO DE PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS	90
<b>10 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>93</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>95</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A tônica das mudanças climáticas se tornou progressivamente mais discutida a partir da segunda metade do século XX e mais abrangente no século XXI, uma vez que seus impactos em todo o globo se tornam cada vez mais iminentes e com possibilidades de serem irreversíveis.

Há mais de um século, a comunidade científica tem debatido sobre as causas e consequências das mudanças climáticas (FLEMING, 1998; WEART, 2008). Nesse contexto, alguns autores abordam possíveis colapsos a longo prazo decorrentes do acentuado impacto das mudanças climáticas (ALEXANDER et al., 2006; CONTI, 2011; HAYLOCK et al., 2006; OBREGÓN & MARENGO, 2007; STERN, 2006; VINCENT et al., 2005; VECCHIA et al., 2020; CASTRO, 2023).

Ao final dos anos 1980, foram criados alguns órgãos para tratar da temática, um exemplo desses é o “Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima”, o IPCC (sigla em inglês), criado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), com o intuito de apresentar implicações e futuros riscos sobre as mudanças climáticas. Dados publicados no último relatório sobre as mudanças climáticas (IPCC, 2021), indicam que as mudanças climáticas provocadas pelo homem são “irrefutáveis, irreversíveis” e já causaram um aumento em mais de 1°C na temperatura da Terra.

Para compreender melhor esse aumento, é essencial distinguir o fenômeno do efeito estufa e sua relevância no contexto atual. A intensificação das emissões de gases de efeito estufa contribui diretamente para o aquecimento global observado na contemporaneidade. O efeito estufa se caracteriza como um processo natural que ocorre numa atmosfera planetária devido à presença de determinados gases, sendo eles: vapor d'água (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), clorofluorcarbonetos (CFCs) e ozônio (O<sub>3</sub>) (BARRY e CHORLEY, 2013).

Os chamados gases de efeito estufa são muito importantes para o desenvolvimento do Planeta que temos hoje, pois ficam aprisionados na nossa atmosfera, impedindo que a Terra não perca tanto calor, já que eles absorvem uma parte da radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra e irradiam de volta essa energia para a superfície, resultando em um recebimento de quase o dobro de energia da atmosfera, comparado à energia que vem do Sol (SILVA e PAULA, 2009).

O homem pós-revolução industrial começou a utilizar combustíveis fósseis como

fonte de energia para o desenvolvimento da humanidade e através disso houve um aumento significativo na emissão de tais gases (CARVALHO, 2008). Esse aumento fez com que o nível desses gases na atmosfera aumentasse, elevando a temperatura, pois, quanto mais gases, implica que menos calor saia. E a intensificação dele é chamado de aquecimento global, que se configura como o aumento da temperatura média da Terra (CONTI, 2011; SILVA e PAULA, 2009).

Uma grande parcela das implicações sobre o clima está altamente centrada na redução de dióxido de carbono. Isso se dá pela alta quantidade desse gás que é liberada na atmosfera, porém há outros gases que tem grande parcela de emissões e possuem potencial de aquecimento maior de aquecimento, que de acordo com Mota (2018) é o caso do CH<sub>4</sub> (cerca de 20 vezes mais potente que o CO<sub>2</sub> como gás estufa) – que, segundo relatório do IPCC (2021), não tinha alcançado níveis tão altos nos últimos 800.000 anos. Segundo Souza Júnior (2022) um dos maiores propulsores de emissão do CH<sub>4</sub> é o gado bovino, que através do seu processo de mastigação e digestão emite CH<sub>4</sub> para a atmosfera.

O Brasil possui um dos maiores rebanhos mundiais de bovinos (SILVA, 2020). Segundo o último relatório de Produção da Pecuária Municipal (PPM, 2022), o Brasil possui um rebanho de 264 milhões de cabeças de gado bovino. Isso tudo para sustentar um consumo que vai além da nutrição. Os números da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2020) indicam que a agropecuária é responsável por 15% das emissões de carbono no mundo e uma das principais fontes de degradação da terra e da água.

Ainda segundo a FAO (2020), o consumo de carne e leite no mundo aumentou rapidamente nos últimos 50 anos. Sua produção hoje é quase cinco vezes maior do que no início dos anos 60 – de 70 milhões de toneladas, passou para uma estimativa de 345,6 milhões em 2021. Isso nos traz o contraste com os dados do relatório do IPCC (2021) pois, segundo ele, se considerarmos os últimos 2 mil anos, a temperatura nunca subiu tão rápido quanto dos anos 1970 para cá, demonstrando a real influência do consumo de carne no aquecimento global. Caso não haja uma iniciativa para frear as emissões desses gases, o relatório do IPCC estima que chegaríamos até o final do século XXI a um aumento de cerca de 4,4 °C. Isso resultaria na frequência de fenômenos extremos, como o aumento do nível do mar, que advém do degelo; nos padrões de chuva; como também impactos sociais e econômicos (IPCC, 2021) Diante dos impactos adversos causados pela produção bovina, cresce a discussão global sobre medidas de mitigação no setor. A Holanda destaca-se como pioneira ao adotar políticas públicas que desencorajam o consumo de carne, tornando-se o primeiro país a proibir a publicidade relacionada a esse consumo em locais públicos (BBC, 2022). Essa abordagem

reflete uma consciência crescente sobre os vínculos entre a produção de carne e as crises climáticas. Como relatado no G1 (2022), Ziggy Klazes, política na Holanda, enfatiza que a proibição da publicidade de carne é uma resposta à incoerência de alertar sobre uma crise climática enquanto simultaneamente se incentiva o consumo de produtos que contribuem para tal crise. Essa iniciativa holandesa sinaliza uma mudança de paradigma em direção a práticas alimentares mais sustentáveis e destaca a necessidade global de repensar nossos hábitos alimentares para enfrentar desafios ambientais emergentes.

A expressiva presença de gado no Brasil em números superiores à sua população humana (IBGE, 2022) sublinha a magnitude da indústria pecuária no país. Com uma das maiores populações de gado bovino do mundo, o Brasil desempenha um papel crucial na produção e exportação de carne (SVERSUTTI, 2018). No entanto, essa realidade não está isenta de implicações significativas. O desmatamento extensivo para criar pastagens, a concentração de terras e recursos, e as emissões consideráveis de gases de efeito estufa associadas à pecuária levantam preocupações ambientais e sociais. O contraste entre a abundância de gado e os desafios relacionados à sustentabilidade e segurança alimentar destaca a necessidade de repensar e buscar alternativas mais equilibradas, visando a preservação ambiental e a promoção do bem-estar social. Diante disso, é necessário criar espaços para discutir e procurar medidas preventivas, pois essas mudanças estão relacionadas com a forma que iremos viver no futuro.

Neste contexto, este estudo tem como objetivo investigar o aumento da produção bovina na mesorregião geográfica<sup>1</sup> do Triângulo Mineiro, abrangendo o período de 1970 a 2022 e como esse aumento contribui para o contexto do aumento das temperaturas médias globais.

Durante esses anos, foram compilados dados relevantes para análises, especialmente no que se refere à emissão de gases e suas implicações no meio ambiente local. A abordagem metodológica adotada baseia-se em uma pesquisa quantitativa e comparativa, complementada pelo uso da cartografia temática. A escolha dessa metodologia visa proporcionar uma compreensão aprofundada e detalhada dos padrões de emissão de gases provenientes da atividade pecuária na região. Isso permitiu uma análise comparativa que destaca as dinâmicas ambientais, identificando áreas com potencial para intervenção ou melhoria. Ao explorar o panorama da produção bovina ao longo dessas décadas, busca-se contribuir para o

---

<sup>1</sup> Segundo o IBGE (1989, p. 2) entende-se por Mesorregião como “uma área individualizada em uma Unidade da Federação que apresente formas de organização do espaço definidas pelas seguintes dimensões: o processo social, como determinante; o quadro natural, como condicionante e, a comunicação e de lugares, como elemento da articulação espacial”

entendimento das interações entre a atividade agropecuária e o meio ambiente. Além disso, a pesquisa visa fornecer subsídios para a tomada de decisões e a implementação de estratégias que promovam a sustentabilidade e a redução dos impactos ambientais na região.

Para isso, a pesquisa foi dividida em 8 partes. O primeiro intitulado “Brasil: Um país pecuarista” tem como propósito traçar a trajetória do gado no Brasil, destacando como essa atividade pecuária se estabeleceu e evoluiu ao longo do tempo, com foco na sua presença na mesorregião do Triângulo Mineiro. Ao abordar a história do gado no contexto nacional e regional, busca-se fornecer um contexto histórico que contribua para a compreensão das dinâmicas atuais da produção bovina na região em questão.

Na segunda parte, o trabalho explora a caracterização do Triângulo Mineiro, oferecendo uma análise que abarca desde uma descrição geográfica até considerações sobre o clima e a economia da região. Este segmento da pesquisa se destaca pela ênfase na importância econômica do gado na localidade, proporcionando uma compreensão aprofundada dos elementos que moldam a dinâmica socioeconômica do Triângulo Mineiro.

Na terceira parte, a pesquisa oferece um panorama do aquecimento global, destacando as perspectivas de renomados autores no campo e analisando as conclusões mais recentes do Relatório do IPCC. Este capítulo proporciona uma compreensão aprofundada das atuais percepções e descobertas sobre a temática, consolidando informações essenciais para a contextualização do impacto do aquecimento global na sociedade e no meio ambiente.

Na quarta parte do trabalho, o objetivo principal é estabelecer uma análise detalhada da linha temporal de conceituação das mudanças climáticas antropogênicas. Este enfoque visa compreender a evolução do entendimento científico em relação às causas e impactos das atividades humanas sobre o clima global. Desde os primórdios das preocupações ambientais até as mais recentes descobertas e projeções, esta seção busca traçar um panorama das contribuições científicas, teorias emergentes e implicações políticas relacionadas às mudanças climáticas causadas pela atividade humana.

A quinta parte, nomeada de "O Metano", tem como propósito abordar o metano de maneira abrangente, explorando suas origens, características e impactos. Ao longo desta parte, será apresentada uma análise detalhada do papel desse gás na atmosfera, destacando suas fontes e contribuições para as mudanças climáticas. Ao final desta parte, a pesquisa se concentra na percepção específica do metano proveniente das emissões decorrentes da atividade pecuária, com enfoque na compreensão dos fatores que influenciam essa emissão no contexto da produção bovina na mesorregião do Triângulo Mineiro.

Na sexta parte, intitulada de "Métodos de Análise e Cálculo", a pesquisa apresenta as

técnicas empregadas para estimar as emissões provenientes da atividade pecuária, focando especialmente na produção bovina na mesorregião do Triângulo Mineiro. Esta parte busca esclarecer e elucidar os métodos utilizados na análise das emissões, proporcionando uma compreensão dos procedimentos e cálculos empregados para quantificar o impacto ambiental gerado pela criação de gado na região em estudo.

Na sétima parte, o foco está na apresentação dos resultados e na análise dos dados derivados das estimativas das emissões de gases provenientes da produção bovina na mesorregião do Triângulo Mineiro. Esta seção oferece uma visão aprofundada das contribuições específicas da atividade pecuária para as emissões de gases, proporcionando uma base sólida para a compreensão do impacto ambiental e possibilitando uma avaliação crítica dos aspectos relacionados à sustentabilidade nesse contexto regional.

Na última parte, denominado como "Propostas Mitigadoras", a pesquisa direciona seu foco para apresentar estratégias e soluções que visam mitigar os impactos ambientais da produção bovina na mesorregião do Triângulo Mineiro. Este capítulo é dedicado a explorar alternativas sustentáveis e práticas que possam conciliar as demandas econômicas com a necessidade premente de preservar o ecossistema local. A pesquisa examina propostas específicas para reduzir as emissões de gases provenientes da atividade pecuária, destacando a importância de medidas que possam equilibrar os aspectos econômicos com a responsabilidade ambiental. Ao final desta parte, o objetivo é oferecer perspectivas concretas e viáveis para a promoção de uma produção bovina mais sustentável e alinhada com os desafios ambientais contemporâneos.

## 2 BRASIL: UM PAÍS PECUARISTA

*Ó donos do agrobiz, ó reis do agronegócio  
Ó produtores de alimento com veneno  
Vocês que aumentam todo ano sua posse  
E que poluem cada palmo de terreno  
E que possuem cada qual um latifúndio  
E que destratam e destroem o ambiente  
De cada mente de vocês olhei no fundo  
E vi o quanto cada um, no fundo, mente*

*Chico César*

O propósito deste capítulo intitulado “Brasil: Um país pecuarista” é trazer um recorte histórico que revele a dimensão espacial deste cenário dentro do país, tendo como análise central sua atuação no Triângulo Mineiro.

Primeiramente para a construção de uma base teórica para a discussão do capítulo, é utilizado o campo das Geografia Agrária, revelando bases teóricas e conceituais que confirmam a dimensão pecuarista do espaço.

Posteriormente é tratado como a pecuária se firma no espaço-tempo, tendo como propósito de estudo a região do Triângulo Mineiro. Nota-se a grande demanda bovina na região, vinda inicialmente para desbravamentos das terras e hoje se perpetuando como fonte econômica da região, sendo uma das principais causas da construção das cidades desta região.

Portanto, o Triângulo Mineiro se apresenta como uma mesorregião extremamente pecuarista com bases e ideais do agronegócio, sendo uma das principais produtoras de gado do Brasil (IBGE, 2022).

### 2.1 PECUÁRIA COLONIAL

A pecuária por muito tempo foi objeto de escasso estudo no âmbito da geografia, devido a diversos fatores. Para Valverde (1967) um desses motivos é a falta de documentação abrangente sobre o tema, o que dificulta a análise aprofundada. Além disso, em muitos locais, a pecuária se desenvolve de forma discreta, com poucas alterações na paisagem natural, o que

diminui seu apelo visual para os estudiosos. Adicionalmente, ao longo do tempo, a atividade pecuária apresentou poucas variações significativas, mantendo-se em certa medida similar àquela praticada durante o período colonial. Apesar dessas limitações, é importante ressaltar o profundo significado da pecuária, pois segundo Esselin (2011) ela desempenhou um papel fundamental na ocupação econômica de vastas extensões do território brasileiro.

A pecuária brasileira começou a ser desenvolvida no século XVI logo após o começo do processo de colonização. Segundo Teixeira e Hespanhol (2015) a atividade teve enorme importância dentro da estrutura produtiva do país. A economia colonial era voltada para dois setores, sendo uma para o comércio externo e a outra para o comércio interno. De acordo com Furtado (1977) e Hoogestijn & Hoogestijn (2010, p. 38), o comércio interno tinha a pecuária como um dos principais setores para a produção de alimentos e o abastecimento da população colonial. Prática esta que foi de total importância para a ocupação do espaço agrário com o desbravamento de terras que não eram ocupadas pela atividade açucareira, que na época era a atividade da base econômica colonial e nada poderia prejudicar seu desenvolvimento. Segundo Valverde (1967) não existiam bovinos no período antecedente a colonização, a interiorização do bovino, pode ser constituído passo a passo (Figura 1). Por conta da atividade açucareira, e por conta da expansão da pecuária no país foi publicada na época uma carta régia proibindo a circulação de gados no litoral.

A criação somente poderia ser realizada além de dez léguas da linha da costa, para evitar que o gado estragasse as plantações de cana-de-açúcar. Assim, a criação deslocou-se para o interior do território brasileiro. (MEDEIROS NETO, 1970, p. 31).

Para os mesmos autores, a expansão da atividade mineradora em áreas pertencentes aos atuais estados de Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais foi, sem dúvida, outro fator responsável pelo deslocamento da criação de gado bovino para o interior do país. Esse fenômeno resultou na formação de um mercado consumidor de carne, leite e couro devido ao deslocamento das populações. Esse deslocamento também pode ser atribuído às vantagens oferecidas por essas regiões, como extensas áreas de pastagem e disponibilidade de recursos naturais. A expansão da atividade mineradora estimulou o desenvolvimento da infraestrutura nessas localidades, o que facilitou o transporte e escoamento da produção pecuária.

De fato, o vaqueiro, o peão, enfim o pecuarista, com o tropeiro, substituíram o bandeirante como fator de expansão e unidade nacional, abrindo caminhos, ligando centros produtores aos consumidores, aproximando o sertão do litoral, transportando mercadorias, levando notícias e correspondências, numa obra gloriosa de fixação do colono ao solo

e de progresso rural iniludível (MEDEIROS NETO, 1970, p.52)

Figura 1 - Penetração do gado no Brasil



Fonte: VALVERDE (1967).

A dispersão do gado no Brasil teve início a partir da Capitania de São Vicente em São Paulo e depois na Bahia e em Pernambuco por Duarte Coelho.

Os primeiros bovinos foram introduzidos na Capitania de São Vicente (São Paulo) em 1534, enviados de Portugal por Dona Ana Pimentel, esposa e procuradora de Martim Afonso de Sousa. Em 1535, Duarte Coelho introduziu os bovinos em Bahia e Pernambuco; posteriormente outros donatários fizeram o mesmo (ADAS, 1983, p.240).

Uma das mais importantes regiões para os pastores do Brasil colônia, foi a região do sertão nordestino, que abrangia desde o Rio Parnaíba até o norte de Minas. Para Valverde (1967) alguns fatores contribuíram para a rápida ocupação do gado nesta região como: a vegetação da caatinga; o relevo suave que facilitava o deslocamento do gado; pouca exigência

de investimentos; e mercado consumidor. Por outro lado, Prado Júnior (1987) afirma que outros fatores impediram mais o desenvolvimento da atividade na região, cenário que é refletido até os dias atuais como: os pastos pobres e a falta de água, está agravada em secas intermitentes que prejudicam muito os rebanhos, levando assim a pecuária nordestina a decadência.

Outra região importante dentro deste panorama, que se perpetua até nos dias atuais é a região Sul. A prática pecuarista só foi possível graças a um dos solos mais abundantes dentro do cenário brasileiro. Com estepes úmidas, relevo suave e água abundante, características importantes para a produção bovina, que na época se tornou a zona com maiores multiplicações de gado comparado a outras áreas, por conta disso e outros fatores a região Sul se tornou uma das pioneiras no período colonial (ADAS, 1983).

Dentro deste período surge-se também junto com a exploração do ouro, a expansão da pecuária para Minas Gerais. Favorecido por uma zona pastoril abundante, diferente da já encontrada no Nordeste, tendo um quadro vegetativo ideal para as condições bovinas.

Um planalto ondulado, atravessado por alinhamentos montanhosos. O clima tropical é amenizado pelas altitudes; a pluviosidade é elevada. Estepes úmidas e alguns cerrados, interrompidos por cordões de matas ciliares (VALVERDE, 1967,p.16).

Dentro deste panorama, podemos concluir que o gado foi de enorme importância para interiorização da colônia e anexação de uma extensa área de desenvolvimento de um comércio interno.

## 2.2 DISPERSÃO PARA O TRIÂNGULO MINEIRO

Como foi elucidado no capítulo anterior, durante o período colonial brasileiro, a pecuária desempenhou um papel fundamental na economia e na ocupação do território. No contexto específico do Triângulo Mineiro, a dispersão da pecuária foi impulsionada principalmente pelo período aurífero, que teve início no final do século XVII. Antes do ciclo do ouro, a região do Triângulo Mineiro era pouco povoada e de difícil acesso.

Segundo Carneiro (2013) como forma de adentrar o território, o governo colonial organizou as expedições chamadas "entradas e bandeiras". Essas expedições tinham como objetivo encontrar riquezas minerais, combater indígenas hostis e estabelecer rotas comerciais. Durante essas expedições, os bandeirantes (aventureiros que participavam das bandeiras levavam consigo gado bovino como forma de garantir o abastecimento de carne durante as viagens). Com o avanço das bandeiras para o interior do Brasil, o gado bovino

começou a ser introduzido nas regiões do atual Triângulo Mineiro. Para Lourenço (2005) a vegetação do Cerrado, característica dessa região, mostrou-se favorável para a criação de gado, devido à disponibilidade de pastagens naturais e recursos hídricos. Além disso, o clima também era propício, com estações bem definidas e períodos de chuvas regulares, o que contribuía para a qualidade dos pastos.

No Triângulo Mineiro foi introduzido o gado indiano (zebu), que se adaptou muito bem às condições regionais e aí conseguiu-se uma raça brasileira, a Indu-Brasil. Nessa área destacam-se como raças mais criadas: Gir, Nelore, Gurezã e Indo Brasil (ADAS, 1983, p. 241).

Prado Júnior (1986) relata que com a descoberta do ouro nas Minas Gerais, houve um grande fluxo migratório em direção à região, e o Triângulo Mineiro se tornou um importante ponto de passagem e fornecedor de alimentos para os mineradores e para as vilas e povoados que se formavam em torno das minas. A pecuária, nesse contexto, assumiu um papel estratégico no fornecimento de carne, couro, tração animal e outros produtos pecuários necessários para o abastecimento das atividades auríferas.

De acordo com Lourenço (2010) a demanda por produtos pecuários aumentou consideravelmente durante o período aurífero, levando ao crescimento da criação de gado no Triângulo Mineiro. Os criadores de gado aproveitaram as vastas áreas de pastagens disponíveis na região para expandir suas atividades, estabelecendo fazendas e fazendo uso das técnicas de criação e manejo desenvolvidas ao longo do tempo. Na visão de Furtado (1987), a pecuária foi uma atividade econômica complementar à mineração, fornecendo produtos básicos necessários para a subsistência e o funcionamento das atividades auríferas. Além disso Lourenço (2005) salienta a contribuição da atividade para o povoamento dessa região, pois os fazendeiros e criadores de gado desempenharam um papel importante na formação de vilas, na construção de infraestrutura, como estradas e pontes, e no estabelecimento de relações comerciais e sociais com outras regiões, se transformando em um papel integrador com a o resto do território brasileiro. No decorrer do período colonial, segundo Holanda (1985) a pecuária no Triângulo Mineiro manteve sua importância econômica mesmo após o declínio da mineração aurífera.

A economia regional, com suas propriedades rurais horizontalmente integradas, era particularmente capaz de absorver o choque das transformações que vieram após a exaustão do ouro aluvial. Tanto tinha capacidade para corresponder ao estímulo recebido da economia interna quanto do amplo comércio exterior que fluía pela estrada do Rio de Janeiro e que minguou na proporção direta do declínio da produção aurífera (Maxwell, 1978, p. 112).

Libby (1988) na mesma linha, mostra que as fazendas de gado continuaram a desempenhar um papel fundamental na produção de alimentos, na tração animal e na economia regional como um todo. A pecuária se estabeleceu como uma atividade duradoura e contribuiu para a formação da identidade cultural e econômica da região. Além disso, a pecuária também teve um papel relevante na formação das primeiras cidades da região. Os ranchos e currais utilizados para abrigar o gado eram pontos de referência e de parada para viajantes e comerciantes, o que estimulou o surgimento de povoados ao seu redor. Com o tempo, esses povoados se desenvolveram e se transformaram em cidades, como Uberaba, Uberlândia e Araxá, que hoje são importantes centros urbanos do Triângulo Mineiro (Lourenço, 2005).

Ao longo do século XX, conforme observado por Viçoso (2021), a pecuária no Triângulo Mineiro passou por transformações notáveis, resultando em uma expansão considerável em comparação com o período colonial. Essa evolução não se restringiu apenas ao avanço tecnológico, mas também à ampliação das áreas destinadas às pastagens. Dados do IBGE (2017) indicam que em mais de 90% dos estabelecimentos, a criação extensiva predominou, caracterizada pelo gado sendo criado solto em pastagens plantadas, com pouca supervisão técnico-veterinária e uma incorporação reduzida de mão de obra. Para Teixeira e Hespanhol (2014) o processo de modernização da pecuária, a partir de 1960, foi impulsionado pelo avanço da tecnologia e pela melhoria das infraestruturas de transporte, contribuindo significativamente para o desenvolvimento do setor. A introdução de novas raças de gado, adoção de técnicas de manejo mais eficientes e a industrialização da produção de carne foram elementos-chave nesse processo. Diante desses avanços é relevante destacar iniciativas como o PRODECER (Programa de Desenvolvimento do Cerrado) e o POLOCENTRO (Programa de Desenvolvimento dos Cerrados). Estes programas foram concebidos com o propósito de preservar a relevância da atividade pecuária e promover estímulos e apoio ao setor.

No século XXI, a atividade pecuária segundo Viçoso (2021) se tornou uma atividade consolidada com grande importância na economia local, sendo ainda praticada no sistema tradicional de criação. No entanto, segundo Genaro (2013) a pecuária no Triângulo Mineiro viu uma diminuição em sua predominância, cedendo um pouco de espaço para o crescimento do agronegócio. Essa mudança reflete uma transição nas atividades econômicas da região, com uma possível redução na participação relativa da pecuária em comparação com outras atividades agroindustriais. Vasconcelos (2004) acrescenta que nas últimas décadas, a pecuária bovina no Triângulo Mineiro enfrentou desafios devido à introdução de novas práticas produtivas. O avanço dessas técnicas é limitado, pois muitos pecuaristas, têm optado por

arrendar suas terras para cultivos mais lucrativos, como soja, milho, cana-de-açúcar e silvicultura, notadamente para a produção de eucalipto destinado à celulose. Para Genaro (2013) o processo de substituição de áreas de pastagem por cultivos mais rentáveis evidencia uma perda gradual por parte dos pecuaristas para o setor do agronegócio.

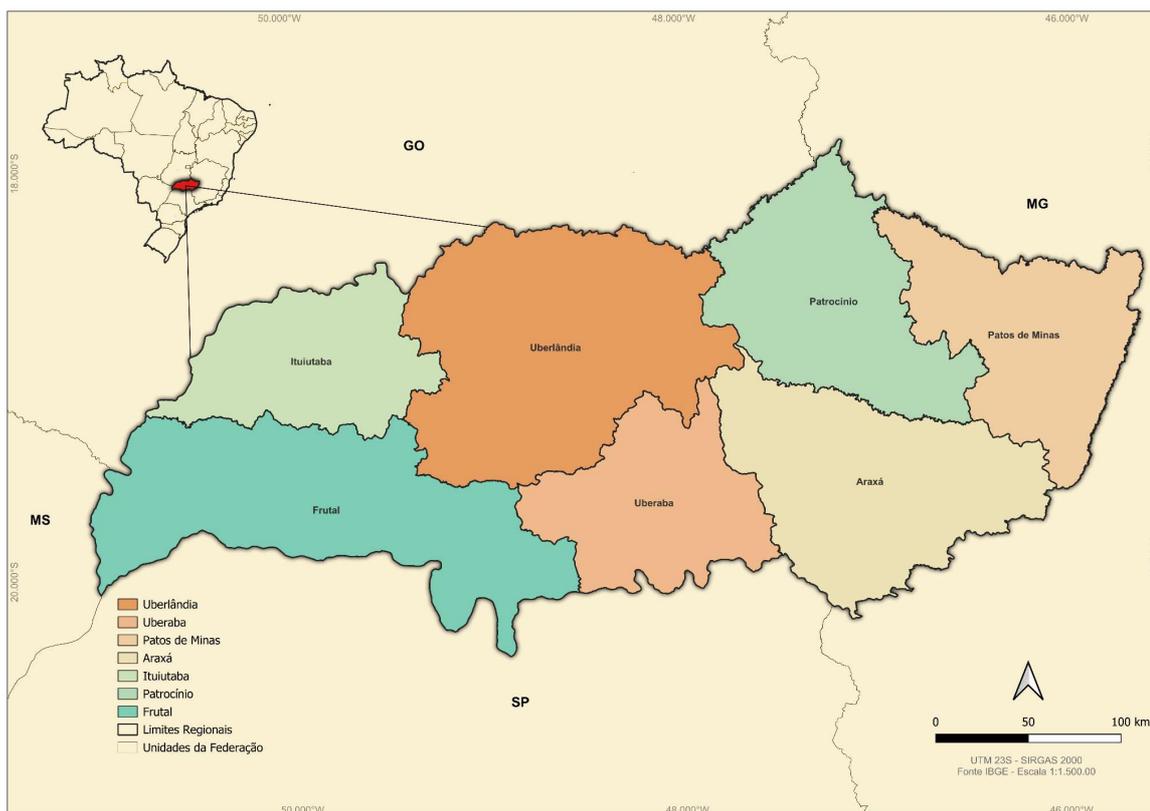
Souza (2013) ressalta que o crescimento expressivo do agronegócio, especialmente em Minas Gerais e no Brasil, pressionou os pecuaristas, levando muitos, especialmente aqueles com minifúndios, a cederem suas propriedades para arrendamento. De acordo com Viçoso (2016) na microrregião de Ituiutaba, no Triângulo Mineiro, houve uma redução significativa nas áreas de pastagem entre 2006 e 2015, indicando uma substituição dessas áreas por cultivos como a cana-de-açúcar. O autor aponta que, mais do que uma simples adaptação, o arrendamento de terras por pecuaristas a grandes produtores de cana-de-açúcar e usinas de etanol reflete uma nova dinâmica de uso da terra, vinculada a arranjos políticos e investimentos estratégicos. Essa transformação tem resultado na diminuição gradual do espaço destinado à produção pecuária, impactando diretamente o setor. Esse cenário revela desafios logísticos e econômicos para os pecuaristas, em função das mudanças nas práticas agrícolas da região.

Por fim, a pecuária no Triângulo Mineiro solidificou-se como uma atividade essencial, impulsionando o desenvolvimento econômico e a ocupação territorial. A introdução contínua de novas tecnologias e práticas de manejo aprimorou significativamente a produtividade e a qualidade dos rebanhos, elevando a região a um status de destaque entre as principais áreas produtoras de carne bovina no Brasil. Embora tenha perdido parte de sua proeminência ao longo dos anos, a pecuária ainda mantém uma posição central como um dos principais setores econômicos na região, desempenhando um papel crucial na economia local.

### 3 CARACTERIZAÇÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO

A Mesorregião do Triângulo Mineiro está localizada a oeste do estado de Minas Gerais. Esta região faz divisa ao norte com o Sul Goiano e o Noroeste de Minas; ao sul com o Estado de São Paulo, além do Sul e Sudoeste de Minas; a leste com a região Central Mineira e o Oeste de Minas Gerais; e a oeste com o Leste de Mato Grosso do Sul. Composta por 66 municípios, a mesorregião é dividida em 7 microrregiões geográficas<sup>2</sup>, identificadas pelos nomes dos municípios sede. Essas microrregiões se destacam economicamente, socialmente e na prestação de serviços aos municípios ao seu redor. Comparativamente a outras mesorregiões do estado, o Triângulo Mineiro é o terceiro maior em população e o segundo maior em extensão territorial (Figura 2).

Figura 2 - Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba – MG



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A compreensão da formação da pecuária no Triângulo Mineiro é intrinsecamente ligada às características geográficas que moldam essa próspera atividade econômica na região. Por conta disso, este capítulo traz uma importante contextualização dos domínios

<sup>2</sup> Para o IBGE (1989, p. 2), define-se, Microrregião Geográfica como “As microrregiões são definidas como partes das Mesorregiões que apresentam especificidades quanto à organização do espaço”

geográficos da região, que segundo Ab'Sáber (1971) é caracterizado por chapadões cobertos por vegetação de cerrado e penetrados por floresta-galeria. De acordo com Baccaro (1991) no triângulo mineiro está inserido na morfoestrutura dos planaltos e chapadas da bacia sedimentar do Paraná.

A vegetação de cerrado no Triângulo Mineiro está enfrentando significativos impactos ambientais devido à sua expansão desordenada. Segundo Melo (2005), a vegetação original está sendo progressivamente substituída por pastagens e cultivos de grãos, com destaque para a soja. Essa transformação certamente perturbou o equilíbrio em vastas áreas, resultando em alterações significativas no ecossistema local.

Conforme apontado por Rosa e Sano (2014), a região é atravessada por cursos d'água significativos, entre os quais se destaca o Rio Paranaíba. Sua nascente ocorre no município de Rio Paranaíba, na Serra da Mata da Corda, na microrregião de Patos de Minas. Este rio desempenha um papel crucial tanto na agricultura quanto na vida urbana local. A Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba é a segunda maior unidade hidrográfica da Região Hidrográfica do Paraná, cobrindo 25.4% de sua área, o que equivale a uma extensão de 223.532,7 km<sup>2</sup>. Essa bacia abrange partes dos estados de Goiás (63.2%), Minas Gerais (31.7%), Mato Grosso do Sul (3.4%) e Distrito Federal (1.7%). Sua contribuição para a fertilidade do solo é notável e tem um impacto significativo na produção bovina na região. Como observado por Sanches et al (2021), o clima predominante no Triângulo Mineiro é do tipo tropical, apresentando estações bem definidas ao longo do ano. As temperaturas médias anuais oscilam entre 22°C e 26°C, enquanto a precipitação anual varia de 1.100 mm a 1.750 mm. Os verões são quentes e chuvosos, enquanto os invernos são secos e amenos. Essa variação climática favorece a prática de diferentes atividades agrícolas ao longo do ano, contribuindo para a diversificação da produção na região.

A topografia plana e a presença de extensas áreas de pastagem contribuem significativamente para a expansão bem-sucedida da pecuária no Triângulo Mineiro. Os campos propícios ao desenvolvimento de gramíneas e forragens, aliados à fertilidade do solo, proporcionam condições ideais para a criação e engorda de animais. A presença de recursos hídricos, como o Rio Paranaíba, desempenha um papel crucial no suporte à pecuária, garantindo acesso a fontes de água essenciais para o gado. Essa infraestrutura natural favorece a criação de animais em larga escala, consolidando o Triângulo Mineiro como uma das principais regiões produtoras de carne bovina no Brasil.

Ao considerar a parcela geográfica do Triângulo Mineiro, percebemos que as

condições favoráveis do ambiente contribuem não apenas para a expansão da pecuária, mas também para a sustentabilidade dessa atividade ao longo do tempo. A interação entre os elementos geográficos e a pecuária cria uma simbiose que impulsiona o desenvolvimento econômico e fortalece a posição da região como um importante polo agropecuário no contexto nacional.

A pecuária, de acordo com dados do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), desempenha um papel fundamental na economia brasileira, contribuindo consideravelmente para o Produto Interno Bruto (PIB) do país. No contexto específico de Minas Gerais, segundo a Fundação João Pinheiro (2023), o PIB atingiu a marca de R\$258,1 bilhões no último ano, representando 9,7% do PIB nacional, a pecuária foi um dos principais motores desse crescimento, gerando um impacto significativo com um montante de R\$31,4 bilhões. Os pesquisadores da fundação destacam que o notável desempenho na agricultura e pecuária foi fundamental para esse crescimento econômico. Essa alta pode ser atribuída aos resultados excepcionais obtidos nessas áreas, demonstrando a relevância contínua da atividade pecuarista como uma fonte robusta de renda para o estado.

De acordo com Silva (2023) a pecuária na região do Triângulo Mineiro está diretamente relacionada à geração de empregos, tanto diretos como indiretos. Desde a criação e cuidado dos animais até o processamento e distribuição de produtos relacionados à pecuária. Ademais, a pecuária contribui para a diversificação da economia regional, complementando outras atividades agrícolas, como a produção de grãos. Isso ajuda a estabilizar a economia local e a mitigar os riscos associados a choques em setores específicos. E por conta disso, o comércio local é impulsionado pois os produtos derivados, como carne bovina, leite e couro, são comercializados dentro da região e além de seus limites geográficos, estimulando assim o desenvolvimento de mercados locais regionais, promovendo o crescimento econômico.

Esse cenário de desenvolvimento econômico e relevância da pecuária no Triângulo Mineiro, ao mesmo tempo em que oferece inúmeros benefícios para a economia e o comércio regional, traz consigo desafios significativos, especialmente quando considerado sob a ótica ambiental. A expansão da pecuária e o aumento da produção bovina estão diretamente ligados a questões de sustentabilidade e, mais especificamente, ao impacto no aquecimento global.

## 4 AQUECIMENTO GLOBAL

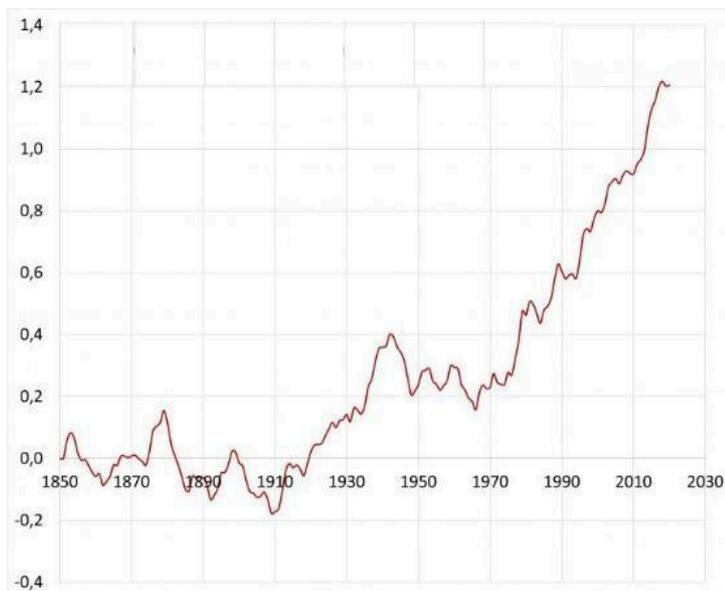
O aquecimento global, se constitui como um fenômeno que transcende as fronteiras físicas para se tornar um protagonista inequívoco nos debates contemporâneos sobre o destino do nosso planeta. Nesta exploração, o estudo busca trazer à luz dos elementos cruciais desse fenômeno, desde suas origens científicas até os impactos tangíveis que moldam a face do nosso mundo.

Para Weart (2008), o aquecimento global se caracteriza pelo aumento contínuo das temperaturas médias da superfície terrestre ao longo do tempo, sendo um fenômeno complexo e global que resulta principalmente das atividades humanas, as quais liberam quantidades significativas de gases de efeito estufa na atmosfera. Este impacto não conhece fronteiras geográficas, exercendo influência sobre ecossistemas em todo o planeta. O consenso científico, como afirmado pelo IPCC (2021) é inequívoco: a contribuição humana para o aquecimento global é inegável.

Os gases de efeito estufa, como dióxido de carbono, metano e óxidos de nitrogênio, desempenham um papel crucial ao reter o calor na atmosfera, resultando no aumento das temperaturas médias globais. O Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do IPCC (2021), destacou dados alarmantes sobre as concentrações desses gases. O relatório aponta que a concentração de dióxido de carbono atingiu níveis sem precedentes nos últimos 2 milhões de anos. Além disso, os níveis de metano e óxidos de nitrogênio ultrapassaram as concentrações registradas nos últimos 800 mil anos. Essas constatações indicam a influência significativa das atividades humanas nas mudanças climáticas. O AR6 também evidenciou que o aquecimento global induzido pelo ser humano já resultou em um aumento de 1,1°C nas temperaturas médias globais.

O aumento nas temperaturas globais já está deixando evidências significativas em nosso planeta (MARENGO, 2018). O recuo das geleiras, por exemplo, atingiu níveis sem precedentes nos últimos 2 mil anos. O ano de 2023 foi identificado como o mais quente em todo o mundo em um período de 125 mil anos (MENDES, 2024). Além disso, o aumento do nível do mar ocorreu de forma mais rápida do que em qualquer século nos últimos 3 mil anos. A cobertura de gelo no verão do Ártico também atingiu a menor extensão dos últimos mil anos. O aquecimento dos oceanos está ocorrendo a uma taxa sem precedentes desde a era do gelo, e a acidificação dos oceanos alcançou o nível mais alto em pelo menos 26 mil anos (NOBRE, 2012).

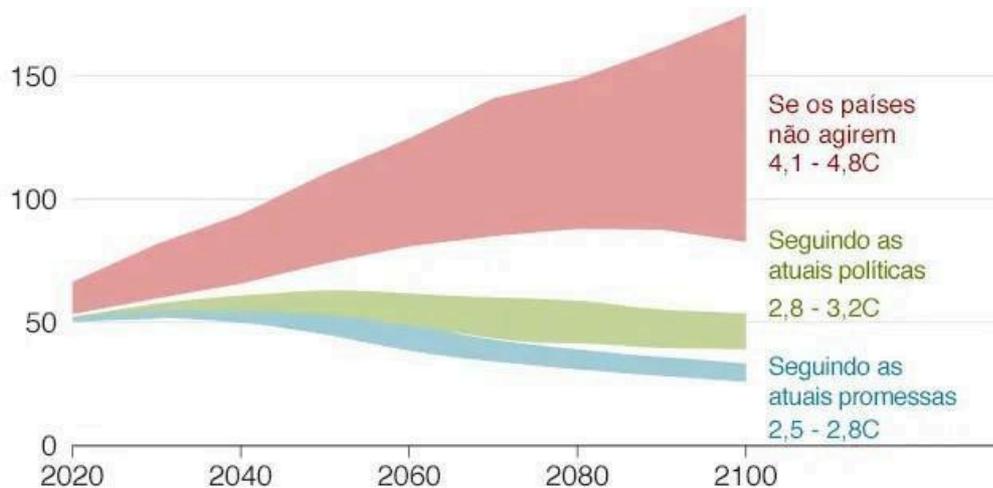
Gráfico 1 - Aumento da temperatura média de 1850 a 2021



Fonte: Morice et al. (2021).

Seguindo essa linha de raciocínio, estima-se que um aumento adicional na temperatura agravaria ainda mais as mudanças climáticas. A cada aumento de  $0,5^{\circ}\text{C}$ , observa-se um aumento perceptível na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, como ondas de calor, tempestades e secas. Ocorrências que costumavam acontecer, em média, uma vez a cada dez anos poderiam se tornar quatro vezes mais comuns. Além disso, temperaturas mais elevadas aumentam a probabilidade de pontos críticos no sistema climático serem ultrapassados, desencadeando eventos retroalimentadores que contribuem ainda mais para o aquecimento global. Exemplos desses pontos críticos incluem o derretimento do *permafrost* e a perda de florestas. A ativação desses eventos também pode levar a mudanças abruptas e irreversíveis no sistema climático. Se o aquecimento atingir a faixa de  $2^{\circ}\text{C}$  a  $3^{\circ}\text{C}$ , as camadas de gelo da Antártida Ocidental e da Groenlândia podem derreter quase completamente, de maneira irreversível, ao longo de milhares de anos, resultando em um aumento significativo do nível do mar (IPCC, 2021).

Gráfico 2 - Emissões e aquecimento esperado para o Planeta Terra até 2100



\*As emissões estão em gigatoneladas de CO2 equivalente

Fonte: Silva (2021)

O IPCC (2021) destaca (Gráfico 2) que, se os países não conseguirem atingir as metas climáticas estabelecidas nas conferências, é possível que a temperatura média global aumente em cerca de 4,8°C até o ano 2100. No entanto, com a implementação das atuais políticas climáticas, que visam diminuir a emissão de gases lançados para a atmosfera, a tendência é que o aumento seja de aproximadamente 3,2°C. Caso as políticas climáticas feitas pelos países sejam totalmente cumpridas, a projeção é de um aumento de temperatura de cerca de 2,8°C até o final do século. Essas estimativas ressaltam a importância crucial de ações globais coordenadas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e limitar o aquecimento global. Dentro desta perspectiva o Brasil já vem sofrendo algumas consequências advindas do Aquecimento Global. De acordo com Fernandes (2021) esse desequilíbrio já vem sendo notado no Sudeste e parte do Nordeste com chuvas intensas. Oliveira (2024) complementa que no Sul, secas históricas resultaram em desabastecimento de água, afetando a agricultura e a produção de energia hidrelétrica. Na Amazônia, Scholz (2020) relata que a bacia enfrenta enchentes recordes, enquanto o processo de savanização da floresta ameaça elevar as temperaturas a níveis perigosos.

As mudanças climáticas já estão impactando os padrões de chuvas, especialmente no Sudeste do país. Contrariando estimativas de redução no volume médio da precipitação para os próximos anos, dados meteorológicos de mais de 70 anos sugerem uma concentração em menos dias e uma ocorrência mais intensa de eventos extremos. O desastre ocorrido em Petrópolis no ano de 2022 exemplifica essa tendência, onde um evento extremo de chuva

resultou em tragédias, contrariando as expectativas anteriores (ALCÂNTARA, 2023).

A escassez de chuvas também representa uma preocupação significativa no Brasil. De acordo com dados do Cemaden (2020), quase 80% dos municípios brasileiros enfrentaram algum grau de estiagem em setembro de 2021, o último mês da estação seca em grande parte do país. O órgão classifica essa estiagem como a pior desde que o fenômeno começou a ser registrado no país em 1910, devido à sua duração e intensidade. A região Sul experimenta a maior estiagem dos últimos 70 anos, conforme indicado pelo monitoramento da Agência Nacional de Águas. No Rio Grande do Sul, mais de 400 municípios decretaram estado de emergência devido à seca, segundo informações da Defesa Civil do estado.

As cheias extremas também têm sido observadas em algumas regiões do Brasil. Em junho de 2021 o, o rio Negro atingiu seu maior nível registrado no porto de Manaus, no Amazonas, desde que as medições começaram há 119 anos, ultrapassando uma cota de inundação severa acima dos 30 metros, conforme alertado pelo Souza (2024). Para a autora essas cheias tiveram um impacto significativo na região, afetando 450 mil pessoas, o que equivale a cerca de 10% da população do estado, de acordo com informações da Defesa Civil do Amazonas.

Em 2021, de acordo com Inmet (2021) a tempestade subtropical Raoni, relacionada a um severo vórtice polar e a um ciclone extratropical, trouxe neve à região sul do Brasil e geada em áreas do Centro-Oeste e Sudeste, além de uma queda significativa de temperatura em praticamente todos os estados brasileiros durante o mês de julho. Esse fenômeno raro, não registrado desde 2000 no Sul, ressalta a variabilidade climática do país, a previsão é que eventos como esse tendem a se intensificar cada vez mais.

No Triângulo Mineiro destaca-se impactos substanciais, especialmente na vegetação do cerrado, que vem experimentando períodos de seca cada vez mais frequentes e intensos (OLIVEIRA, 2023), contribuindo para a ocorrência de incêndios e resultando na redução da cobertura arbórea, crucial como reguladora da temperatura.

Segundo Aduan (2003) o cerrado desempenha um papel crucial como "dreno" de carbono durante a estação chuvosa, que vai de outubro a maio. No entanto, ao final da estação seca, torna-se uma fonte emissora de carbono. A relação é sensível: um aumento na estação seca implica em uma emissão mais prolongada de CO<sub>2</sub> e uma menor capacidade de captura de carbono durante a estação chuvosa. Atualmente, o cerrado mantém um balanço positivo, absorvendo mais carbono do que emite. No entanto, a cientista alerta que alterações na distribuição das chuvas podem transformar esse ecossistema, inicialmente um dreno de carbono, em uma fonte geradora de carbono, apresentando riscos significativos para o

equilíbrio ambiental na região.

O avanço das atividades agropecuárias na região do cerrado, tem levado à conversão de uma parcela significativa da vegetação nativa em pastagens destinadas à criação de gado, ocupando aproximadamente 34% da área. Esse processo, além de impactar a biodiversidade, teve implicações diretas no clima local, resultando em um aumento de 1°C na temperatura e uma redução de 10% na umidade na região (MAPBIOMAS, 2019).

O Triângulo Mineiro experimentou temperaturas até 5°C acima da média, com cidades como Uberlândia registrando recordes de calor (INMET, 2023). Uberaba, outra cidade na mesorregião, também sentiu os efeitos, como apontado por Sanches et al (2017), que destacou um aumento nas temperaturas máximas e mínimas ao longo de todos os meses do ano. Essas mudanças climáticas impactam diretamente o cotidiano das comunidades locais, ressaltando a necessidade de abordagens sustentáveis e medidas de adaptação para mitigar os efeitos adversos nas condições climáticas e na qualidade de vida da população.

## 5 MUDANÇAS CLIMÁTICAS ANTROPOGÊNICAS

O debate em torno das mudanças climáticas tem ganhado cada vez mais destaque no cenário global, à medida que evidências científicas apontam para um aumento significativo na temperatura média do planeta. Dentro desse contexto, as mudanças climáticas antropogênicas emergem como um tema de extrema relevância, delineando o impacto das atividades humanas no clima terrestre. Diante disso, este capítulo tem como objetivo principal se basear na linha temporal de conceituação das mudanças climáticas antropogênicas.

De acordo com o IPCC (2021) e de Weart (2003), compreende-se que as mudanças climáticas antropogênicas são todos os processos nos quais o homem provoca as mudanças do clima através de despejo de gases de efeito estufa na atmosfera, sejam eles por queima de combustíveis fósseis, queimadas, produção de ruminantes, desmatamento, entre outros. A discussão acerca da caracterização dessas mudanças permeia outros fatores antes de chegar no propriamente dito. Por isso, segundo Weart (2003), compreender as mudanças climáticas antropogênicas só é possível quando observadas as diferentes causas e condições, todos eles interagindo uns com os outros de maneiras complexas. O autor complementa afirmando que, ao longo dos anos, os cientistas vêm buscando uma compreensão de como cada fator atua e interage entre si, ou seja, ainda não temos um conhecimento fechado sobre cada um deles, mas um conjunto de entendimentos parciais que estão sempre em desenvolvimento.

Para iniciar a discussão, o conceito de atmosfera deve ser empregado a priori, pois é nela onde tudo se correlaciona. Segundo Jardim et al. (2001) o nosso planeta já existe há aproximadamente 4,5 bilhões de anos, e durante todos esses anos ele se transformou por diversas vezes em forma e composição até chegar no formato atual. Para Barry & Chorley (2013), o mesmo acontece com a atmosfera terrestre, que se instaurou com sua configuração atual há cerca de 400 milhões de anos, quando se desenvolveu a primeira cobertura vegetal pelo solo.

Segundo Barry & Chorley (2013) o estudo da atmosfera tem uma longa história, desde observações no século IV a.C – com elementos provocados pela atmosfera, como a pluviosidade – o início das teorias, que tem seu pontapé inicial datado no século XVII com Galileu Galilei e a invenção do termômetro; Torricelli com a invenção do barômetro; Pascal que usou o barômetro para mostrar que a pressão diminui com a altitude; e Boyle ainda no século XVII que demonstrou a compressibilidade do ar, mostrando que o volume é inversamente proporcional a pressão. Mais tarde, Charles, no século XIX, descobriu também que o volume do ar é diretamente proporcional à temperatura, até desencadear a lei do gás

ideal, que relaciona a pressão, o volume e a temperatura, relações significativamente importantes para o estudo da atmosfera (RINALDI, 2010).

Enfim, Barry (2013) aborda que o uso de todos esses equipamentos e outros posteriores combinado às mentes brilhantes por trás de cada um dos cientistas envolvidos permitiu que a atmosfera fosse investigada e estudada. No final do século XIX já era possível mensurar os principais gases presentes na atmosfera. E foi nesse momento que começou a se considerar a real possibilidade de o ser humano ser a potencial causa para a alteração do clima. Por fim, Souza (2016) define a atmosfera como uma camada de ar formada por uma mistura de gases que envolve a Terra, a qual se constitui como vital para o panorama climático e essencial para a conjuntura da vida no planeta.

Segundo Alves (2011), dentro do último século houve uma grande expansão populacional mundial, tendo um salto de 1,6 bilhão de habitantes para 6,1 bilhões de habitantes. Como consequência desse aumento, Ribeiro (2002) relata que a queima de combustíveis fósseis – através do surgimento dos motores a combustão –, a produção do gado, e o surgimento de siderúrgicas foram processos relevantes quantitativamente para utilizar fonte de energia de maneira irracional, e essa irresponsabilidade vem causando sérios danos ao planeta até hoje. Esse uso não foi e ainda não é bem acompanhado por análises para avaliar seu impacto e projetos para mitigação. Por conta disso, Marcovitch (2006) relata que hoje todo o meio científico busca uma correção dessas atitudes com o objetivo de não degradar tanto o meio ambiente, e ao mesmo tempo não comprometer o avanço tecnológico.

A intervenção do homem na natureza teve seu apogeu dentro do último século, com objetivo de sustentar uma evolução tecnológica e ocupacional, porém esse ápice foi precedido de vários fatos que aconteceram no passado. E, para elucidar melhor essa construção, é importante traçar os caminhos percorridos por filósofos, cientistas e políticos na elaboração da conceituação das mudanças climáticas antropogênicas. Para entendermos as mudanças climáticas antrópicas, temos que entender as histórias paralelas e conectadas a esta pois, através disso, elas juntas nos conduzem por caminhos e ideias que concretizaram a tomada de consciência do aquecimento do planeta. A partir dessa colocação, este recorte fará um resgate histórico com intuito de fomentar a conceituação proposta nesta pesquisa, e através disso traçar sua problematização (WEART, 2008)

Essa construção, segundo Van Kranendon et al (2008), começou há cerca de 3,5 bilhões de anos atrás, quando é datado o aparecimento da vida na Terra através de bactérias. Braga et al (2001) afirma que, logo em seguida, há cerca de um milhão de anos atrás, surgiram então os nossos primeiros ancestrais. Para o autor, a partir do descobrimento do fogo

há cerca de 800 mil anos antes de Cristo, o homem, mesmo que inconscientemente, começa a assumir seu papel predatório da natureza, com os primeiros vestígios da degradação da qualidade do ar e do seu impacto nas variações climáticas.

Braga et al (2001) prossegue relatando que foi durante a era pré-cristã, onde se iniciou o processo de preocupação com o ar, pois o homem nessa época utilizava carvão como fonte de combustível e por conta disso a qualidade do ar já era notada como ruim. Essa situação tendeu a ser pior na era pós-cristã quando na Inglaterra no século XIII quando se iniciou “os primeiros atos de controle de emissão de fumaça” (BRAGA, 2001, p. 2).

Fleming (1998) aborda que as primeiras noções elaboradas sobre o clima são relacionadas à expansão marítima europeia, através de relatos dos exploradores. Estes relatos abordavam sobre ambientes, formas de vida e sociedades diferentes daquela conhecida por eles, europeus. E na tentativa de explicar essas sociedades, os exploradores utilizavam o clima e a cultura. O autor complementa que, no século XVIII, em um desses relatórios, Abbé Jean-Baptiste Du Bos (1719) relatou que o surgimento dessas sociedades era oriundo de “causas físicas como a qualidade do ar, do solo e do clima da região”. Para ele, o ambiente em que o ser humano se formava – dentro do ventre da mãe –, seria retrato da sua evolução. “Daí se explica por que as pessoas que habitam em diferentes climas diferem tanto no espírito e nas propensões”, e, por isso, para ele as diferenças físicas e culturais das sociedades eram construídas por particularidades climáticas e condições ambientais, diferenciadas por épocas e regiões (DU BOS, in FLEMING, 1998, p. 13).

Dentro dessas condições de implicação sobre o clima, Fleming (1988) relata sobre David Hume, que em seu ensaio “Of the populousness of ancient nations”, de 1750, afirma que o clima na Europa e no Mediterrâneo foi mais frio em épocas passadas. O autor acrescenta que Aristóteles e Estrabão relataram sobre frios intensos na Europa, gerando lugares inabitados, levando Hume a considerar que as mudanças climáticas dessa época estavam ligadas à expansão da agricultura.

Fleming (1988) continua dizendo que os relatos dos exploradores dentro do continente da América exprimem que o clima era mais robusto, com frequentes tempestades, comparado ao clima da Europa. Hoje, diante de todos os estudos produzidos durante séculos, conseguimos entender os motivos desses efeitos climáticos, porém naquela época entender isso era um desafio para os estudiosos. Por conta disso, eles classificavam o clima como ruim, e diziam que ele só seria melhorado à medida que desbravassem mais terras, derrubando árvores, fazendo com que assim mais energia vinda do sol penetrasse, melhorando os ventos.

Williamson em 1771 relatava que um dia os efeitos de todas essas mudanças

ambientais produziriam um clima temperado que, seguindo a ideia de Hume, atuaria na formação de grandes gênios. Mais cedo, na Inglaterra, John Evelyn, em 1664, escreveu que o desmatamento influencia em uma maior entrada de ar e luz e isso implicaria num clima melhor, resultando numa saúde melhor para a população. Thomas Jefferson, em suas notas sobre o Novo mundo, afirmava que a população já relatava que o clima estava ficando diferente, e “a neve que antes ficava por três meses, hoje fica um, dois, três dias”. Inclusive ele foi um dos primeiros a se preocupar com as questões das mudanças climáticas; para isso, ele apostou na necessidade de dados mais concretos, instituindo diários meteorológicos, com a ideia de que isso pudesse trazer a conclusão das mudanças climáticas. Países cientificamente mais fortes participaram dessa proposta; com isso, o século XIX é marcado pelas coletas, e padronização de dados sobre a meteorologia, com a ideia de traçar a caracterização do clima e trazer informações sobre anomalias climáticas para a população (FLEMING, 1988).

Fleming (1988) aborda que diante dessa proposta, houve uma mobilização internacional para suprir essas demandas. Com a conferência Internacional em Leipzig em 1872 e o Primeiro Congresso Internacional de Diretores de Serviços Meteorológicos em Viena em 1873, fomentou-se a criação de um órgão para tratar da meteorológica mundial, abrindo uma nova era da climatologia. Com a abertura dessa era, os cientistas puderam trabalhar com dados mais homogêneos trazendo uma nova visão sobre as tendências climáticas regional e mundial.

Diante de tal fato, Conti (2011) aborda sobre as primeiras investigações sobre a influência do homem nas mudanças climáticas, onde o cientista Arrhenius, em 1896, procurou demonstrar através dos seus experimentos uma relação entre a concentração de CO<sub>2</sub> – oriundos da queima de carvão – e o aumento da temperatura, concretizando que, com isso, a humanidade aumentaria a temperatura média do planeta. Através desses estudos, Arrhenius concluiu que a redução de CO<sub>2</sub> na atmosfera levou ao advento das glaciações. Os dados trabalhados pelo autor possuem uma coincidência aproximada com os do IPCC, que foram concluídos 100 anos depois, mostrando a real importância do estudo de Arrhenius. Porém, o autor não tratou as mudanças climáticas antropogênicas com alarmismo, inclusive via de bons olhos o aquecimento da terra para algumas regiões e ainda acrescentava que o oceano poderia reciclar todo CO<sub>2</sub> emitido. Para Barry & Chorley (2013) isto tudo só aconteceria por conta de um processo precedente a este que é a descoberta de Joseph Fourier, o efeito estufa: para ele a Terra se encontraria muito mais fria se não tivesse uma atmosfera. Por fim, o efeito estufa se configurou como um processo natural que ocorre numa atmosfera planetária devido à presença de determinados gases: vapor d'água (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano

(CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), CFCs e ozônio (O<sub>3</sub>). Silva (2009) complementa que os chamados gases de efeito estufa são muito importantes para o desenvolvimento do Planeta que temos hoje, pois ficam aprisionados na nossa atmosfera, impedindo que a Terra não perca tanto calor, já que eles absorvem uma parte da radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra e irradiam de volta essa energia para a superfície, resultando em um recebimento de quase o dobro de energia da atmosfera, comparado à energia que vem do Sol.

Já no século XX, outro cientista buscou entender a relação do homem com as mudanças climáticas, que só foi possível graças aos estudos do clima no passado. Broecker (1975), através desses estudos, percebeu indícios das mudanças climáticas provocadas pelo homem; além disso, foi o primeiro cientista a falar sobre o aquecimento global, que se configura como o aumento da temperatura média da Terra com o passar dos anos. Então antes de falar propriamente da influência do homem nas mudanças climáticas, cabe falar também sobre as variações naturais que a Terra passa e passou durante seus bilhões de existência.

Dentro deste momento cabe abordar os céticos a respeito das mudanças climáticas antropogênicas, que querendo ou não são de enorme importância para a concretização do assunto. Segundo Casagrande (2021) para eles o aquecimento global é sim comprovado, mas não por interferência humana mas sim por uma variabilidade natural do clima. Webster em 1799 acreditava que o clima poderia ter tido algumas variações por conta das atividades agrícolas, mas por poucas evidências isto não poderia se implicar em mudanças climáticas, ou nada que concretizasse um aumento global, pois para ele as pessoas tendiam mais a se lembrar de eventos extremos e implicava isso a possíveis mudanças climáticas. Forry e Alexander von Humboldt corroboram também com a mesma ideia, elencando que os documentos a respeito do clima do passado não haviam dados seguros e por conta disso concluíram suas convicções por conta de registros termométricos. (FLEMING, 1988, p. 46-52)

Porém Broecker (1975), através dos seus modelos paleoclimáticos, conseguiu elaborar uma reconstrução da história do clima no nosso planeta. Com isso, conseguiu estipular alguns processos naturais em que a Terra passa e que também pode gerar o aumento da temperatura, tais quais: a distribuição solar devida aos parâmetros orbitais da Terra, que está ligada à quantidade de energia que o planeta recebe; e movimentações das placas tectônicas, com as variações das atividades vulcânicas. Mas, mesmo diante de todos esses processos, ele concretizou através da reconstrução de séries históricas globais, que o aumento da temperatura sempre estava acompanhada do aumento do CO<sub>2</sub>, e que a quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera já ultrapassava 150 bilhões de partículas. Esse número dentro dos últimos 800 mil

anos nunca se instaurou como agora, implicando aqui a influência do homem dentro deste panorama climático.

Dentro desta perspectiva, e como marca da história da modernidade, Marcovitch (2006) aborda que a revolução industrial, que foi estruturada em uma base de combustíveis fósseis e não renováveis (gás, petróleo e do carvão de pedra), e o autor concluiu que a abertura do ser humano à busca pela evolução tecnológica concomitantemente elevou as emissões de gases de efeito estufa. Em contrapartida, neste momento, a agricultura provocou um grande crescimento da população. O autor acrescenta que entre o século XVIII e até meados do século XX, as questões climáticas eram tratadas como questões secundárias, pois as grandes nações estavam muito preocupadas com as guerras.

Porém alguns cientistas continuaram suas pesquisas, principalmente quando tratava da importância do CO<sub>2</sub> para o panorama climático. Knut Angstrom em 1900 concluiu sobre a absorção da radiação infravermelha do CO<sub>2</sub> (CARVALHO, 2018); e, em 1938, Guy Stewart Callendar constatou que naquele século a queima de combustíveis fósseis já tinha lançado cerca de 150 bilhões de toneladas na atmosfera, e já era responsável por um aumento de 0,5°C da temperatura da Terra (ESTEVES, 2013). Ele ainda considerou que os anos de 1934 a 1938 foram os mais quentes desde que a humanidade começou a produzir conhecimento sobre o clima. Diante desses estudos, muitos céticos em relação às mudanças climáticas antropogênicas mudaram de opinião, que passaram a considerar a absorção de energia pelo CO<sub>2</sub>, demandando uma importante base para estudos futuros (Carvalho, 2015).

Após as duas grandes guerras mundiais, e com a chegada da Guerra Fria, Weart (2003) aborda que os países como Estados Unidos e Rússia (Antiga União Soviética) começaram a investir em campos da tecnologia dos quais seriam extremamente úteis para entender as mudanças climáticas. Durante esse período, com os testes de bombas nucleares e com uma possível iminência de uma guerra nuclear, cientistas se preocupavam como isso poderia afetar o clima e o meio ambiente.

Barry et al (2013) afirma que, em uma primeira tentativa de tratar sobre as questões climáticas, a Organização das Nações Unidas (ONU) entre 1948 e 1949 procurou estabelecer uma conferência, porém por não ter pautas bem estruturadas inviabilizou uma evolução dentro do debate ambiental. Nesse período, tanto os cientistas quanto o público leigo aumentavam as considerações sobre o aquecimento do planeta, pois neste momento se depararam com derretimento das geleiras, levando ao aumento do nível do mar e tudo isso condicionado a fenômenos extremos.

Calmon (2009) relata que foi somente na década de 70, com a conferência de

Estocolmo, que a causa ambiental tomou uma proporção ambiental internacional. Em Viena, 21 países formularam a primeira agenda global sobre as mudanças climáticas, levantando pela primeira vez a urgência da mitigação de danos à camada de ozônio.

Em 1976, Weart (2003) afirma que surgem as primeiras pesquisas relacionados a outros gases que também afetam o aquecimento global e conseqüentemente as mudanças climáticas, como é o caso do CH<sub>4</sub>, o metano. Logo em seguida, em 1985, os cientistas pressupõem que, com o avanço da emissão de metano, o aquecimento global pode vir ainda mais rápido, tendo a confirmação em 1988. O metano, que é o principal gás trabalhado e fruto da aplicação do problema dentro da pesquisa a que este recorte se refere, foi descoberto segundo Ferreira (2011) por Alessandro Volta no século XVIII, verificando que o gás se constituía como uma molécula tetraédrica e apolar, que é pouco solúvel em água e que quando misturado ao ar se torna um gás muito inflamável.

Alvalá et. al (2007) acrescenta que o metano é um dos gases mais abundantes da terra, porém ele possui um menor tempo de resistência na atmosfera; em contrapartida possui capacidade de reter calor 23 vezes mais que o dióxido de carbono e 296 vezes mais que o óxido nitroso. Ferreira (2011) complementa que o metano pode ser oriundo de diferentes formas, como processos geológicos da terra, lixões, extração de combustível mineral, por bactéria e pela pecuária. Sendo que 60% da produção deste gás é atribuída à influência do homem, decorrente principalmente deste último fator. Por conta disso e por outros processos, o metano vem progressivamente aumentando sua concentração na atmosfera (chegando a 1% ao ano), com um índice anual acima de quinhentos milhões de toneladas.

Miranda (2018) aborda que, em 1979 na cidade de Genebra, a fim de examinar as mudanças climáticas antropogênicas, a OMM convocou uma reunião com as principais lideranças internacionais, mas neste momento ainda não existia uma certeza sobre tamanha influência. Foi então na Áustria entre 1980 e 1985, a partir de algumas conferências, com o estabelecimento do aquecimento global, que os cientistas traçaram que a emissão de gases de efeito estufa seriam a causa mais importante no próximo século, levando a temperatura aumentar entre 1,5°C e 4,5°C, trazendo implicações gravíssimas para todo ecossistema planetário.

Porém, esses resultados são tratados como previsões e não como um fato consumado. Segundo Young (2021), em 1987, o Protocolo de Montreal elaborou recomendações precisas para acordos vinculados à mudanças climáticas, orientando sobre as substâncias que afetam a camada de ozônio. Essa conferência resultou no estabelecimento de algumas metas específicas de mitigação de emissões.

Conti (2011) relata que, em 1988, foi criado O Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima”, o IPCC, gerado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), com o intuito de apresentar implicações e futuros riscos sobre as mudanças climáticas e propor soluções mitigadoras. No seu primeiro relatório, o IPCC (1990) constatou que o mundo tem se aquecido e que o aquecimento futuro desenfreado era provável. No seu segundo relatório, o IPCC (1995) admite a influência do homem no aquecimento global e alerta sobre que era previsto um aquecimento grave para o próximo século, trazendo complicações preocupantes para o clima. Dentro dessa perspectiva, Oberthür (1999) relata que em 1997, em uma conferência internacional é estipulado o Protocolo de Kyoto, que estabelece metas para países que possuem uma industrialização considerável reduzir as emissões de gases de efeito estufa. O Protocolo de Kyoto é considerado um dos maiores acordo firmado entre países sobre as mudanças climáticas na história da humanidade. Este acordo revigora a ideia de que o ser humano habita o mundo e não somente, sua casa, cidade ou país. No terceiro relatório do IPCC (2001), se constatou que seria muito provável, que estaríamos em um aquecimento global sem precedentes desde a última era glacial. Segundo Weart (2003) em 2003, surgem hipóteses sobre o aumento do nível do mar, oriundos de um possível derretimento das calotas polares, implicando em diversos problemas ambientais para o mundo todo. Oberthür (1999) relata que, em 2005, finalmente, anos depois entraram em vigor as decisões tomadas no protocolo de Kyoto. O quarto relatório IPCC (2007) observa que os efeitos do aquecimento começaram a se tornar notórios e que mesmo que as emissões fossem cessadas, a temperatura continuaria alta por milênios. O IPCC (2021), mais tarde, orienta que as emissões precisam estar em um declínio acentuado até 2030, caso não, poderiam causar consequências catastróficas, pois as emissões provocadas já causaram um aumento de cerca de 1,5 °C. Esses dados publicados nos últimos relatórios sobre as mudanças climáticas concretizam que essas mudanças provocadas pelo homem são “irrefutáveis, irreversíveis”.

Para além de todos esses aspectos, conclui-se que dentro de todo o histórico e processos e traçados dentro deste recorte, para findar o conceito das mudanças climáticas antropogênicas, podemos perceber como os cientistas com o passar do tempo buscaram uma chave mestra para conceber uma conclusão sobre as mudanças climáticas. Após cada construção, puderam perceber que tal conceituação estava intrincada a muitas influências. Dentro dessa perspectiva e com a ascensão da preocupação com o clima, a aplicabilidade deste conceito dentro da pesquisa se mostra através da pecuária, sendo esta contribuinte para as emissões antrópicas de metano (CH<sub>4</sub>), uma das principais fontes de emissão de gases de

efeito estufa e principal fonte de degradação do meio ambiente. Sua expansão provocada pelo aumento da população mundial, aliada ao aumento e diversificação das necessidades humanas, resultou em danos ao planeta que pretendem ser abordados com maior detalhamento nesta pesquisa.

## 6 METANO

Dentro do contexto das mudanças climáticas, o metano assume um papel de destaque, sendo um gás com potencial significativo para influenciar as complexas dinâmicas climáticas globais. Como uma molécula poderosa na intensificação do efeito estufa, o metano ganha importância crescente nos debates sobre mudanças climáticas e sustentabilidade ambiental (OLIVEIRA, 2017). Diante disso, este capítulo propõe uma imersão na compreensão do metano dentro da perspectiva da pecuária, tendo como objetivo uma compreensão do metano como um componente central no panorama das mudanças climáticas. Ao desvendar suas nuances, é possível contribuir para a construção de um conhecimento embasado, essencial para enfrentar os desafios ambientais do nosso tempo e forjar caminhos para um futuro mais equilibrado e sustentável.

### 6.1 VISÃO GERAL

De acordo com Paula (2019) o metano ( $\text{CH}_4$ ) é um dos principais gases de efeito estufa (GEE) sendo o segundo maior contribuinte para o aquecimento da terra (Tabela 1). Ele se configura como um hidrocarboneto que possui uma concentração média de 1,72 ppmv (partes por milhão por volume), tendo a capacidade de reter calor 20 vezes mais que o  $\text{CO}_2$  (ALVALÁ, KIRCHHOFF E PAVÃO, 2007). Segundo Lima (2000), sua concentração atmosférica tem aumentado significativamente nas últimas décadas, tornando-se objeto de intensa preocupação científica e política, Pearce (1989) ainda complementa que em até 2040 o gás se tornará o principal emissor a influenciar o clima global.

Tabela 1 - Gases atmosféricos, fontes e contribuição para o aumento do efeito estufa

	<b>Gás Carbônico (<math>\text{CO}_2</math>)</b>	<b>Metano (<math>\text{CH}_4</math>)</b>	<b>Óxido Nitroso (<math>\text{N}_2\text{O}</math>)</b>	<b>Clorofluorcarbonetos (CFCs)</b>	<b>Ozônio (<math>\text{O}_3</math>)</b>
<b>Principal fonte antrópica</b>	Combustíveis fósseis, desmatamento	Arroz cultivado inundado, pecuária, combustíveis fósseis, queimadas	Fertilizantes, conversão do uso da terra	Refrigeradores, aerossóis, processos industriais	Hidrocarbonetos, queima de biomassa
<b>Tempo de vida na atmosfera</b>	50-200 anos	10-15 anos	150 anos	60-100 anos	Semanas a meses

<b>Taxa anual de aumento</b>	0,5%	0,9%	0,3%	4%	0,5-2,0%
<b>Contribuição relativa ao efeito estufa</b>	60%	15%	5%	12%	8%

Fonte: Lima (2000).

Para o IPCC (2021) a origem do metano é diversificada, ocorrendo tanto de forma natural quanto como resultado das atividades humanas. As principais fontes naturais incluem processos biológicos, como a fermentação entérica em animais ruminantes, a decomposição de matéria orgânica em ambientes anaeróbicos, como pântanos e solos alagados, e a atividade de micro-organismos em ambientes marinhos.

Esses processos naturais são fundamentais para a manutenção dos ciclos biogeoquímicos e a dinâmica dos ecossistemas. Por outro lado, as atividades humanas também são responsáveis pela emissão significativa de metano para a atmosfera. Essas fontes antropogênicas incluem a exploração de combustíveis fósseis, especialmente no setor de petróleo e gás natural, onde o metano é liberado durante a extração, produção e transporte desses recursos. Além disso, práticas agrícolas, como o cultivo de arroz, a criação de animais em sistemas intensivos e o manejo inadequado de resíduos sólidos e líquidos, contribuem para as emissões de metano (CICERONE E OREMLAN et al., 1988).

De acordo com Bustamante (2022) a importância ambiental do metano é destacada pelo seu potencial de aquecimento global (PAG) significativamente maior do que o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em um horizonte de tempo de curto prazo. Embora o CO<sub>2</sub> seja responsável pela maior parte do aquecimento acumulativo ao longo dos anos, o metano é muito mais eficaz em absorver energia infravermelha, contribuindo para o aumento do aquecimento global em escalas temporais mais curtas, como décadas.

Para o IPCC (2021) o aumento das concentrações atmosféricas de metano e outros gases têm sido associado a uma série de impactos ambientais, como o derretimento acelerado de gelo e *permafrost* em regiões polares e montanhosas, alterações nos padrões de precipitação e eventos climáticos extremos, acidificação dos oceanos e mudanças nos ecossistemas terrestres e marinhos. Esses efeitos têm repercussões significativas na biodiversidade, nos recursos hídricos, na segurança alimentar e nas comunidades humanas que dependem desses ecossistemas.

Além disso, é importante considerar que o metano possui capacidade diferente de influenciar nas mudanças climáticas globais, pois interage com a radiação solar com diferente intensidade. As abordagens frequentemente utilizadas para determinar o impacto dos gases na atmosfera são o Potencial de Aquecimento Global (GWP - *Global Warming Potential*) e o Potencial de Mudança de Temperatura Global (GTP - *Global Temperature Change Potential*). O GWP considera a influência desses gases na alteração do equilíbrio energético da Terra, enquanto o GTP considera sua influência no aumento da temperatura. Ambos são medidos para um período de cem anos e expressam seus resultados em uma unidade comum, o equivalente de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>e). No entanto, o GWP é a abordagem mais amplamente utilizada. A Tabela 2, a seguir, apresenta as equivalências para os gases de efeito estufa considerados neste estudo.

Tabela 2 - Equivalência do CH<sub>4</sub> em relação ao CO<sub>2</sub>, em termos de potencial de aquecimento global (GWP) e potencial de Mudança na Temperatura Global (GTP)

<b>Gás</b>	<b>GWP-AR2</b>	<b>GWP-AR4</b>	<b>GWP-AR5</b>	<b>GWP-AR6</b>
CO <sub>2</sub>	1	1	1	1
CH <sub>4</sub>	21	25	28	27
<b>Gás</b>	<b>GTP-AR2</b>	<b>GTP-AR4</b>	<b>GTP-AR5</b>	<b>GTP-AR6</b>
CO <sub>2</sub>	1	1	1	1
CH <sub>4</sub>	5	5	4	4,7

Fonte: IPCC (1995,2007,2013).

Compreender os processos de produção, emissão e remoção de metano é crucial para estimar e mitigar seu impacto nas mudanças climáticas. A quantificação precisa das fontes de emissão e a identificação das principais fontes antropogênicas são essenciais para o desenvolvimento de estratégias eficazes de redução de emissões (SEEG, 2023).

Além disso, é importante investigar os mecanismos naturais de remoção de metano, como a oxidação microbiana e a absorção pelos oceanos e solos, a fim de avaliar sua capacidade de mitigar o aumento das concentrações atmosféricas (SANTOS, 2019; TEIXEIRA, 2007). Estudos sobre os fluxos de metano em diferentes ecossistemas e a interação entre os ciclos biogeoquímicos também são necessários para uma compreensão abrangente do papel do metano nas mudanças climáticas. A redução das emissões de metano é uma prioridade global para limitar o aquecimento global e seus efeitos adversos.

## 6.2 O METANO NA PECUÁRIA

A produção animal representa uma atividade de enorme impacto, tanto devido ao elevado volume de resíduos gerados quanto à emissão de gases poluentes. Steinfeld (2006) relata que cerca de 37% do metano produzido pela ação antrópica é derivado da produção animal, oriundo da fermentação entérica e 65% de óxido nitroso fruto da decomposição do esterco.

Em um panorama geral Fiala (2008) complementa que cerca de 14 a 22% de GEE produzidos anualmente têm origem animal. Neste panorama, Steinfeld (2006), relata que a produção bovina se destaca como a mais negativa e sua expansão tem sido frequentemente apontada como uma das principais causas do agravamento das questões relacionadas ao aquecimento global.

Dentro deste cenário, o USDA (2022) estima que no ano de 2022 o mundo chegou a safra de mais de 1 bilhão de cabeças de gado (Tabela 3), tendo a Índia como a principal produtora, porém estagnada em números, e logo atrás vindo o Brasil com uma crescente altíssima, chegando neste ano a 264,10 milhões de cabeças, se aproximando ano após ano ao rebanho indiano.

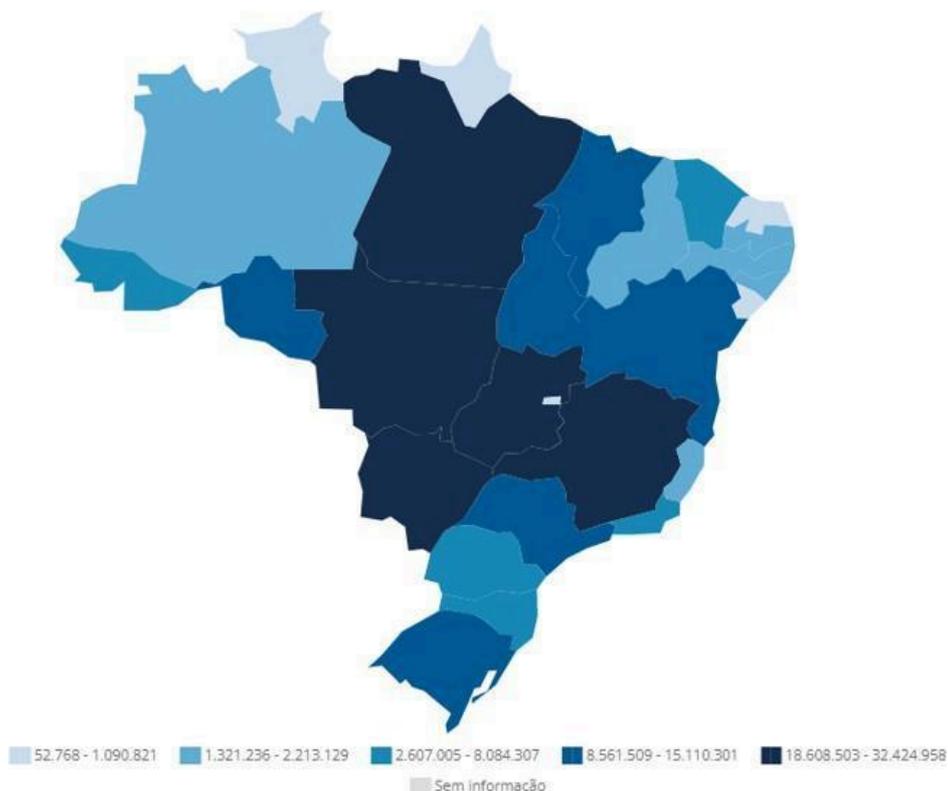
Tabela 3 - Rebanho mundial

País	2018	2019	2020	2021	2022	Var.2022/21
Índia	301,90	302,70	303,20	305,50	306,70	0,4%
Brasil	232,35	238,15	244,14	252,70	264,10	4,5%
Eua	94,29	94,80	93,79	93,59	91,80	-1,9%
China	90,38	89,15	91,38	95,62	99,50	4,1%
UE	79,01	77,84	77,16	76,46	75,72	-1,0%
Argentina	54,79	55,00	54,46	53,54	53,74	0,4%
Austrália	26,17	25,69	23,65	23,02	23,97	4,1%
Outros	96,16	95,70	95,64	96,06	96,17	0,1%
Total	975,05	979,03	983,42	996,49	1.011,70	1,5%

Fonte: USDA (2022).

Como demonstrado pela Tabela 3, o Brasil possui um dos maiores rebanhos bovinos do mundo, sendo 87% destinado à pecuária de corte e 13% à produção de leite (ZOTTI e PAULINO, 2009), sendo Minas Gerais, o quarto maior rebanho do país, e a mesorregião do Triângulo Mineiro como a área central dessa demanda.

Figura 3 - Bovinos (Bois e Vacas) - Tamanho do rebanho (2021)



Fonte: PPM (2023).

Tabela 4 - Tamanho dos maiores rebanhos por estado

Localidade	Quantidade (cabeças)
Mato Grosso	32.424.958
Goiás	24.293.954
Pará	23.921.005
Minas Gerais	22.856.143
Mato Grosso do Sul	18.608.503

Fonte: PPM (2023).

De acordo com o MapBiomias (2021), a pecuária bovina ocupa aproximadamente 15% do território brasileiro. Valor que pode ser correspondido no aumento da atividade nas últimas

duas décadas e que se reflete no aumento expressivo das cabeças de gado, que passou de 140 milhões em 2000 para um pouco mais de 240 milhões em 2020 (IBGE, 2021).

Esses números demonstram a importância do Brasil no cenário pecuarista global, de acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, do inglês *Food and Agriculture Organization of the United Nations*) (2021), o Brasil é um dos maiores produtores de carne bovina.

Para a Embrapa (2020), o país é fundamental para o abastecimento global de carne, sendo reconhecido por sua competitividade e riqueza nesse quesito. Mostrando assim a sua influência na parte econômica do país, exemplo disso, é sua contribuição no Produto Interno Bruto (PIB), que no ano de 2021 representou 5,2% do PIB, correspondendo a quase R\$1 trilhão de faturamento, se tornando uma das atividades que mais contribuiu para o crescimento da economia (CEPEA, 2021).

Apesar do aumento na criação de rebanhos, a agropecuária brasileira apresenta desigualdades significativas em termos tecnológicos, econômicos, sociais e ambientais. Essas disparidades também se manifestam nas emissões de gases de efeito estufa (GEE), que aumentaram aproximadamente 171% desde 1970 e quase 48% desde 1990 no setor pecuário.

Como resultado, o setor pecuário é uma das principais fontes de emissões no Brasil atualmente. Dentro desta perspectiva o SEEG (2023) aponta que o setor agropecuário é responsável por ser o maior emissor de metano no Brasil, responsável por 14,54 milhões de toneladas (Mt) em 2020, ou 71,8% das emissões, sendo a atividade pecuária correspondente por 91,6% das emissões do setor (13,32 Mt CH<sub>4</sub>), resultantes sobretudo da fermentação entérica do rebanho bovino (o “arroto” do boi), seguida pelo manejo de dejetos animais (0,85 Mt CH<sub>4</sub>) com 5,8%. A atividade agrícola tem 2,6%, resultantes do cultivo de arroz irrigado (0,37 Mt CH<sub>4</sub>) e da queima de resíduos da cana-de-açúcar (0,008 Mt CH<sub>4</sub>).

Além disso, a expansão da produção bovina no Brasil está diretamente ligada ao desmatamento, com o setor sendo responsável ou beneficiado pela maior parte do desmatamento no país. De acordo com os resultados SEEG (2023), se as emissões

provenientes do desmatamento para fins agropecuários fossem contabilizadas separadamente, a participação desse setor nas emissões totais brasileiras ultrapassaria dois terços do total. Esse cenário tem levado a uma pressão por parte da comunidade global para que o Brasil adote medidas que promovam uma mudança no modelo de produção, visando à redução das emissões de GEE.

Como parte dos compromissos assumidos pelo Brasil no Acordo de Paris, a Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), também conhecida como *Nationally Determined Contribution*, tem como objetivo sustentar um aumento de aproximadamente 30% na produção agropecuária, ao mesmo tempo em que mantém os níveis de emissão desse setor em 2005. Com esse propósito, o país planeja implementar medidas como a recuperação de pastagens degradadas e a expansão da adoção de sistemas integrados de lavoura, pecuária e floresta em uma área de 5 milhões de hectares até o ano de 2030 (BRASIL, 2016). Essas ações foram incorporadas em um programa do Ministério da Agricultura denominado Plano de Agricultura.

Por conta disso foram estabelecidas metas de redução de emissão de GEE, correspondendo a redução de 1,1 bilhão de toneladas de GEE, para isso foi prevista algumas ações para a pecuária brasileira:

Recuperação das pastagens degradadas: a meta é a recuperação de 30 milhões de hectares, através da adoção de práticas que restabeleçam a cobertura do solo, que servem de alimentos para os animais. Tal ação tem o potencial de remover 113,7 milhões de toneladas de GEE; Tratamento de dejetos animais: a meta é utilizar 208,4 milhões de m<sup>3</sup> de dejetos animais para geração de energia ou aplicação no solo como fertilizante, havendo um potencial de redução das emissões em 277,8 milhões de toneladas de GEE; Abates em terminação intensiva: aplicação da técnica em 5 milhões de cabeças de gado, com um potencial de redução de emissões de GEE em 16,25 toneladas (SEEG, 2023).

Mesmo diante dessas eficientes ações estabelecidas, ainda cabe um aumento dos investimentos governamentais para que haja a uma redução das emissões. Necessidade que se torna mais essencial quando consideramos o acordo realizado pelo país na 26<sup>o</sup> Conferência das Partes (COP 26). Dentre as medidas de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) acordadas internacionalmente, destaca-se a meta de redução de 30% das emissões globais de metano (CH<sub>4</sub>) até o ano de 2030. As principais fontes de emissão desse gás estão relacionadas às atividades pecuaristas. Esse compromisso foi ratificado por seis dos principais países emissores do metano, incluindo o Brasil (UN, 2021).

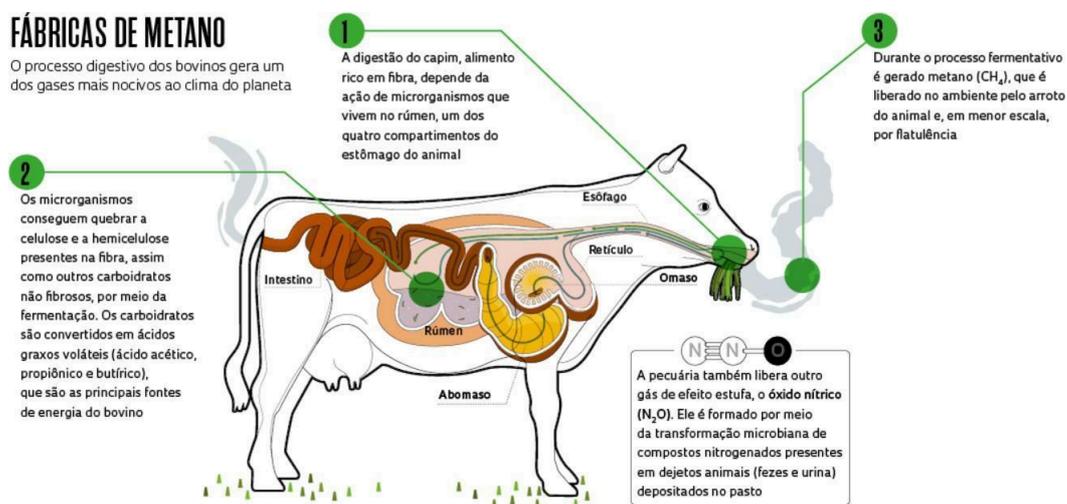
No entanto, a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) provenientes da pecuária vai além da necessidade de cumprir os compromissos internacionais e da contribuição do setor para as emissões nacionais. Conforme evidenciado pelo 6º Relatório de Avaliação (AR6) publicado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), os impactos das mudanças climáticas já estão sendo amplamente observados em todo o mundo (OC, 2021). Esse relatório também confirmou as projeções do 5º Relatório, indicando que o Brasil enfrentará consequências significativas das mudanças climáticas, particularmente nos setores agrícola, energético, da saúde e da habitação. Diante desse cenário, torna-se essencial adotar ações que visem à redução das emissões de GEE, bem como estratégias de mitigação e adaptação climática.

### 6.3 FERMENTAÇÃO ENTÉRICA BOVINA

Segundo a SEEG (2023) a fermentação entérica é a maior fonte de  $\text{CH}_4$  no país, e sua intensidade de emissão depende de diversos fatores, tais como a espécie do gado, idade, tipo de alimento e sua demanda climática. Ela acontece durante a digestão do gado, que possui um estômago compartimentado (rúmen e retículo). Quando o animal se alimenta, ocorre um processo de fermentação anaeróbica no rúmen, no qual microrganismos convertem os carboidratos celulósicos do material vegetal ingerido em ácidos graxos de cadeia curta. Esses ácidos graxos se tornam uma fonte de energia para o animal. Durante esse processo, é gerado  $\text{H}_2$ , que é utilizado por bactérias metanogênicas para reduzir o  $\text{CO}_2$ , resultando na formação de metano ( $\text{CH}_4$ ). O metano é então expelido para a atmosfera, através de eructação ou exalação (CICERONE e OREMLAN, 1988; ZOTTI & PAULINO, 2009).

A maior fonte alimentar do gado são os carboidratos, que no rúmen são quebrados em açúcares, que são utilizados pelo animal para a produção de energia e sua maturação. Resultando nesse processo a geração de grandes quantidades de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e Ácidos Graxos Voláteis (AGV) (FERREIRA, 2014). A Figura 4 ilustra esse processo.

Figura 4 - Processo da emissão de metano por fermentação entérica



Fonte: Castro (2022).

### 6.3.1 Produção de metano no rúmen

O rúmen é essencialmente uma câmara de fermentação que contém uma quantidade variável de material digerido (50-80 kg em vacas leiteiras), determinada pelo equilíbrio entre a entrada de alimentos e as taxas de fluxo. Os movimentos do rúmen e retículo são responsáveis pela mistura do conteúdo ruminal, pela regurgitação do alimento para a ruminação e pela eructação dos gases de fermentação. A ruminação envolve a regurgitação do alimento, a remastigação, a reinsalivação e a redeglutição do material digerido do rúmen. Os processos de ingestão e ruminação estimulam a produção de saliva pelas glândulas salivares. A saliva é rica em íons minerais, especialmente sódio, fosfato e bicarbonato, que atuam como agentes de proteção no sistema digestivo. O grande volume de saliva produzido neutraliza os ácidos gerados durante a fermentação (capacidade de tamponamento) e ajuda a manter um ambiente ideal para o crescimento bacteriano (pH entre 5,5-7,0). O processo de ruminação reduz o tamanho das partículas de alimentos, o que aumenta a atividade microbiana e facilita a passagem para os outros compartimentos do estômago. Os principais produtos finais da fermentação incluem ácidos graxos voláteis (acético, propiônico, butírico), amônia, células microbianas e metano ( $\text{CH}_4$ ). O tempo médio de permanência no rúmen geralmente varia de acordo com a digestibilidade dos alimentos. A estrutura e a composição do conteúdo ruminal são diretamente influenciadas pela dieta. A função do rúmen como câmara de fermentação e a presença de certas bactérias promovem a produção de gases, como descrito na tabela 5. Esses gases são encontrados na parede superior do rúmen, com o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e o

metano (CH<sub>4</sub>) compreendendo a maior proporção (MAGAÇO, 2019).

Tabela 5 - Composição típica dos gases do rúmen

<b>Componente</b>	<b>Porcentagem média</b>
<b>Hidrogênio</b>	0,2
<b>Oxigênio</b>	0,5
<b>Nitrogênio</b>	7,0
<b>Metano</b>	26,6
<b>Dióxido de carbono</b>	65,5

Fonte: Teixeira et al. (1998).

### 6.3.2 Síntese microbiana de metano no rúmen

As Archaea metanogênicas são um grupo distinto de microrganismos responsáveis pela produção de metano (CH<sub>4</sub>). Elas possuem co-fatores exclusivos, como coenzima M, F420 e F430, e lipídeos únicos, como éteres de isopranyl glicerol. A parede celular desses microrganismos é composta por pseudomureína, proteína, glicoproteína ou heteropolissacarídeos, e a sequência de nucleotídeos indica uma evolução inicial distinta das bactérias. Embora várias espécies metanogênicas tenham sido isoladas em diferentes habitats anaeróbios, apenas duas, *Methanobrevibacter ruminantium* e *Methanosarcina* sp, foram encontradas em grande número no rúmen (WALLACE, 2014).<sup>3</sup>

No rúmen, as Archaea são encontradas associadas a protozoários ciliados e em proximidade com as bactérias. Essas espécies metanogênicas têm uma afinidade significativa em sintetizar CH<sub>4</sub> a partir de H<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, o que supre suas necessidades energéticas para o crescimento (Miller 1995). Elas também possuem a capacidade de sintetizar CH<sub>4</sub> a partir de formato e, em menor grau, de metanol, mono-, di- e trimetilamina e acetato, porém a redução de CO<sub>2</sub> é a via preferencial. A conversão anaeróbica da matéria orgânica em CH<sub>4</sub> no rúmen envolve um consórcio de microrganismos ruminais, com as metanogênicas desempenhando a etapa final do processo (TAPIO, 2017).

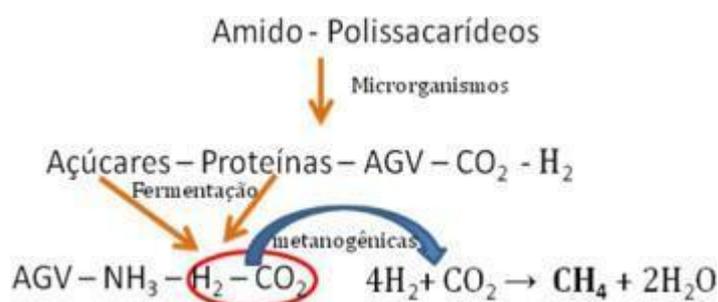
Inicialmente, os microrganismos digestivos, como bactérias, protozoários e fungos,

---

<sup>3</sup> As Archaea metanogênicas, segundo (WALLACE, 2014), são microrganismos que realizam a fermentação entérica na ausência de oxigênio, produzindo metano, se caracterizando como seres anaeróbicos.

hidrolisam o amido dietético e os polissacarídeos da parede celular vegetal, produzindo açúcares, ácidos graxos voláteis (AGV),  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$ . Esses compostos são então utilizados pelas Archaea metanogênicas na produção de  $\text{CH}_4$ , que desempenha um papel fundamental na fermentação no trato digestivo dos animais. Essa produção é sintetizada pela Figura 5, e tal complexa interação entre os microrganismos ruminais desempenha um papel crucial na digestão e aproveitamento dos nutrientes da dieta pelos animais ruminantes, e compreender os mecanismos envolvidos nesse processo é de grande importância para a nutrição animal e o desenvolvimento de estratégias de manejo alimentar mais eficientes.

Figura 5 - Esquema de produção de metano por fermentação ruminal



Fonte: Miller (1995).

Os açúcares e proteínas resultantes são então fermentados por microrganismos secundários, resultando na produção de ácidos graxos voláteis (AGV), amônia, hidrogênio e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). As Archaea metanogênicas desempenham um papel crucial nesse processo, removendo o hidrogênio ( $\text{H}_2$ ) e reduzindo o  $\text{CO}_2$  para formar metano ( $\text{CH}_4$ ) (BERCHIELLI, 2011).

A produção de  $\text{CH}_4$  mantém baixas concentrações de hidrogênio no rúmen, permitindo que as bactérias metanogênicas promovam o crescimento de outras espécies bacterianas e promovam uma fermentação mais eficiente (DE PAULA, 2019). O acúmulo de  $\text{H}_2$  no rúmen pode ter efeitos adversos, como a inibição da re-oxidação do NADH e o acúmulo de lactato ou etanol, resultando em queda de pH e redução da eficiência de crescimento dos microrganismos envolvidos na degradação da fibra da dieta. Portanto, a produção de  $\text{CH}_4$  é um subproduto necessário da fermentação ruminal, pois atua como principal "consumidor" de hidrogênio (JOHNSON e JOHNSON, 1995).

O processo de digestão microbiana ruminal é complexo e sensível, requerendo um equilíbrio adequado dos ecossistemas, no qual as Archaea metanogênicas desempenham um

papel importante. Conforme destacado por Moss (1993) a gestão do hidrogênio no rúmen é fundamental para o controle das emissões de metano pelos ruminantes. A compreensão desses mecanismos de produção de metano no rúmen é de grande importância para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa na indústria pecuária, bem como para o desenvolvimento de estratégias nutricionais visando à melhoria da eficiência da fermentação ruminal e ao aproveitamento mais eficiente dos nutrientes da dieta pelos animais ruminantes.

O equilíbrio entre os microrganismos ruminais, incluindo as Archaea metanogênicas, desempenha um papel crucial nesse contexto, e explorar abordagens para modular a população e atividade desses microrganismos pode ser uma estratégia promissora para reduzir as emissões de metano e melhorar a eficiência da produção animal.

### 6.3.3 Produção de metano pelo intestino grosso

O aumento da proporção da dieta digerida no intestino grosso é uma ocorrência comum quando uma dieta de baixa qualidade é fornecida. A fermentação digestiva ocorre principalmente no ceco e no cólon proximal, e o tempo de permanência da matéria digerida nessa região é significativamente menor do que no rúmen. O intestino grosso desempenha um papel importante na produção de ácidos graxos voláteis (AGV), contribuindo com cerca de 12 a 17% da produção diária, bem como na produção de metano ( $\text{CH}_4$ ), responsável por 6 a 14% da produção diária do animal. Aproximadamente 89% do  $\text{CH}_4$  produzido é absorvido pela corrente sanguínea e expelido pelos pulmões, o que indica que, embora haja produção de  $\text{CH}_4$  no trato digestivo posterior, a maior parte (98%) do total de  $\text{CH}_4$  produzido é expelida pela boca e pelas narinas (HISTOV et al., 2013).

## 7 MÉTODO DE ANÁLISE

Este capítulo descreve como foram calculadas as estimativas das emissões de CH<sub>4</sub> (GEE) no Setor pecuário do Triângulo Mineiro, durante o período de 1970 a 2022. As estimativas foram obtidas seguindo a metodologia proposta pelo Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações para o 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE (BRASIL, 2020).

Essa metodologia é baseada nas abordagens desenvolvidas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) nos relatórios de 1996 e 2006. Ressalta-se que essa metodologia abrange a estimativa das emissões de gases de efeito estufa (GEE) da pecuária bovina com a fermentação entérica, não sendo incluída nesta abordagem os cálculos das emissões decorrentes de outros fatores de emissão advindos desse setor.

A metodologia adotada pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) no 4º Inventário Nacional e pelo SEEG no Brasil prioriza o uso de fatores de emissão que são desenvolvidos levando em consideração as condições específicas do país. Isso significa que, sempre que possível, são utilizados dados e parâmetros que refletem a realidade brasileira.

Essa abordagem difere do nível Tier 1<sup>4</sup>, que utiliza valores padrão ou médias globais para estimar as emissões. Ao adotar o nível Tier 2, os fatores de emissão se tornam mais específicos e ajustados para o contexto nacional, o que resulta em cálculos mais precisos das emissões de gases de efeito estufa. Essa classificação de níveis Tier é baseada nas diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e serve como um indicador da qualidade e precisão dos cálculos. Quanto maior o nível Tier, maior é a precisão dos dados utilizados e, portanto, maior é a confiabilidade das estimativas de emissões.

Diante disso, ao utilizar fatores de emissão específicos, é possível obter estimativas mais confiáveis das emissões, o que é fundamental para a formulação de políticas públicas, o monitoramento dos progressos na redução de emissões e a implementação de ações efetivas de mitigação das mudanças climáticas.

Além disso, este estudo utilizou principalmente os dados censitários do rebanho bovino dos levantamentos realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

---

<sup>4</sup> Os "Tiers" são níveis de detalhamento e precisão metodológica definidos pelo IPCC para o cálculo de emissões de gases de efeito estufa: **Tier 1**: Baseia-se em métodos gerais e fatores de emissão padrão fornecidos pelo IPCC. É o nível mais básico, geralmente utilizado quando dados específicos locais não estão disponíveis. **Tier 2**: Utiliza fatores de emissão e metodologias ajustados às condições nacionais ou regionais, oferecendo maior precisão em relação ao Tier 1.

(IBGE), que estão disponíveis no Sistema de Recuperação de Dados do IBGE (SIDRA).

Esses dados censitários incluem informações sobre população animal, área e produção agrícola. O IBGE é uma das principais fontes de dados de longo prazo para o Brasil, abrangendo décadas de informações. Em casos específicos em que os dados do IBGE não foram suficientes, foram utilizadas outras fontes disponíveis na literatura científica, que são devidamente citadas ao longo do documento. Todas as bases de dados e cálculos foram realizadas utilizando o software Microsoft Excel e a plataforma SEEG.

## 7.1 CÁLCULO

A realização do cálculo da emissão de metano advindos da fermentação entérica bovina no período de 1970 a 2022, para a região trabalhada no trabalho, foi feita pelo SEEG baseada na metodologia utilizada no Relatório de Referência do Subsetor de Fermentação Entérica do 4º Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antropogênicas de GEE (SEEG, 2023).

$$E_{FE} = \sum_T (N_T \times EF_T \times 10^{-6}) \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

$E_{FE}$ : emissão total de CH<sub>4</sub> proveniente da fermentação entérica [Gg CH<sub>4</sub>]

$N_T$ : número total de cabeças por espécie e categoria animal T [nº de cabeças]

$EF_T$ : fator de emissão de CH<sub>4</sub> por fermentação entérica da categoria de animal T [kg CH<sub>4</sub>/animal/ano]

$10^{-6}$ : fator de conversão de kg para Gg

Cabe ressaltar que em situações em que houve ausência de dados para cada informação necessária para Equação 1, foi necessária a utilização de alguns processos e banco de dados diferentes para resolução, que serão descritos no decorrer do trabalho.

Para análise do cálculo adotou Tier 2 para o cálculo da emissão dos bovinos. Trazendo em si uma maior caracterização para o animal, representando a divisão em categoria de bovinos como se apresenta na Tabela 6. Por fim, o somatório dos resultados obtidos por cada município da região trabalhada, será a representatividade da mesorregião analisada dentro deste trabalho.

Tabela 6 - Categorias bovinas consideradas no cálculo das emissões de CH<sub>4</sub> decorrentes da Fermentação Entérica

População animal		Categoria animal
Bovinos	Bovinos de corte	Touros > 2 anos
		Macho de corte > 2 anos (não confinados)
		Fêmea de corte > 2 anos (não confinados)
		Outros bovinos > 2 anos (confinados)
		1 ano < Bovinos < 2 anos
	Bovinos < 1 ano	
	Bovinos de leite	Alta produção (≥2000 L/vaca/ano)
		Baixa produção (<2000 L/vaca/ano)

Fonte: SEEG (2022).

#### 7.1.1 Dados da atividade do estado

As informações sobre a atividade pecuária populacional de bovinos para o período de 1974 a 2022 foram adquiridas por meio do SIDRA (IBGE) e do Anuário da Pecuária Brasileira (ANUALPEC). No entanto, para o período de 1970 a 1973, período que não se obtém dados, o processo de obtenção dos dados foi utilizar a de participação do estado (Minas Gerais) em relação ao total nacional no ano de 1974, conforme os dados disponíveis na Tabela 3939 (IBGE, 2024). Essas porcentagens foram multiplicadas pelo valor total nacional reportado na base de dados de Produtos Agrícolas e Pecuários da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) (UN, 2021) para o ano correspondente. Dessa maneira, foi possível obter a distribuição do valor total nacional entre o estado, de acordo com os dados mais recentes e disponíveis para consulta.

Passo 1: Nesta etapa, foram adquiridas as subcategorias de bovinos com idade inferior a 1 ano, entre 1 e 2 anos, e touros com mais de 2 anos, juntamente com outros bovinos com mais de 2 anos e bovinos leiteiros. Essas informações foram obtidas da Tabela 925 do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2009). Utilizando os mesmos critérios aplicados no 4º Inventário Nacional, foi determinada a proporção de cada subcategoria em relação à população total de bovinos. Essa proporção foi multiplicada pela população total de bovinos

da Pesquisa da Pecuária Municipal (IBGE, 2021) para o período de 1974 a 2022, a fim de obter o número de cabeças nas subcategorias de bovinos menores de 1 ano, entre 1 e 2 anos e touros com mais de 2 anos. Com esses dados, foi possível calcular a emissão de CH<sub>4</sub> para as respectivas subcategorias.

Passo 2: Nesta etapa, é determinada a população de outros bovinos com mais de 2 anos (mantidos em confinamento). Para isso, são utilizados os dados da população de vacas ordenhadas no período de 1974 a 2022, disponíveis na Tabela 94 da Pesquisa da Pecuária Municipal (IBGE, 2021), juntamente com os dados sobre bovinos mantidos em confinamento no período de 1983 a 2022, fornecidos pelo ANUALPEC (FNP, 2022). Os dados sobre bovinos confinados do ANUALPEC não estão disponíveis para todos os estados individualmente. Para esses estados é necessário multiplicar o número de bovinos confinados do ANUALPEC pela fração de distribuição de animais confinados por unidade do estado, de acordo com a metodologia do inventário. O valor obtido é utilizado para compor os dados de outros bovinos com mais de 2 anos (mantidos em confinamento) da Tabela 6. Como os dados do ANUALPEC estão disponíveis apenas a partir de 1983, para o período de 1970 a 1982, é calculada a média da proporção dos últimos cinco anos (1983 a 1987), resultante da divisão do valor de bovinos confinados (ANUALPEC) pelo total de bovinos (IBGE), para cada ano correspondente.

$$prop(1983 - 1987) = \frac{bovinos\ confinados}{bovinos\ totais} (1983 - 1987) \quad (Eq.2)$$

Onde:

*prop (1983 – 1987)*: média da proporção de bovinos confinados para o período de 1983 a 1987 [%];

*bovinos confinados*: média da população de bovinos confinados para o período de 1983 a 1987 [n° de cabeças];

*bovinos totais*: média da população de bovinos totais para o período de 1983 a 1987 [n° de cabeças].

Após obter a proporção para cada ano de 1983 a 1987, foi calculado o percentual de participação do ano anterior em relação ao ano seguinte, usando a seguinte equação:

$$\% \mathit{prop}_n = \frac{\mathit{prop}_{n-1} \times 100}{\mathit{prop}_n} \quad (\text{Eq.3})$$

Onde

$n$ : ano da série histórica (1983 a 1987), iniciando o cálculo para 1984.

$\mathit{prop}_n$ : proporção da população no ano  $n$ ;

$\mathit{prop}(n-1)$ : proporção da população no ano  $n - 1$

Com os quatro dados de  $\% \mathit{prop}_n$ , foi calculada a média desses valores, o qual será multiplicado pelo valor de 1983 do estado correspondente.

$$\mathit{bovinos\ confinados\ (1970\ -\ 1982)} = \mathit{bovinos\ confinados}_{n+1} \times \mathit{m\acute{e}dia\ \% \mathit{prop}_n} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

$\mathit{bovinos\ confinados\ (1970\ -\ 1982)}$ : população de bovinos confinados para o respectivo ano, compreendendo o período de 1970 a 1982 [n° de cabeças]

$\mathit{bovinos\ confinados\ } n+1$ : população de bovinos confinados para o ano  $n + 1$  [n° de cabeças]

$\mathit{m\acute{e}dia\ \% \mathit{prop}_n}$ : média do percentual de participação do ano anterior no ano [%]

Toda a série histórica composta pelos bovinos confinados é considerada na categoria outros bovinos acima de 2 anos (confinados), sendo utilizada para o cálculo da emissão de CH<sub>4</sub> dessa categoria.

Passo 3: Nesta etapa, é determinado o número de outros bovinos com mais de 2 anos (não confinados) por meio da subtração dos dados de outros bovinos com mais de 2 anos e bovinos leiteiros. Esse valor serve como base para obter o número de bovinos fêmeas e machos com mais de 2 anos. Para calcular o número de bovinos fêmeas com mais de 2 anos, é multiplicado o valor de outros bovinos com mais de 2 anos (não confinados) pela proporção de fêmeas de bovinos de corte com mais de 2 anos, que não estão confinados. A partir do número de bovinos fêmeas com mais de 2 anos, é possível obter o número de bovinos machos com mais de 2 anos, subtraindo-o do valor de outros bovinos com mais de 2 anos (não confinados). Com esses dados, é possível realizar o cálculo da emissão de CH<sub>4</sub>.

Passo 4: Durante esta fase, as subcategorias de bovinos leiteiros de alta e baixa produtividade são identificadas. Para realizar essa distinção, são consultadas as Tabelas 94 e 74 do IBGE, com dados abrangendo o período de 1974 a 2022. Essas tabelas fornecem informações detalhadas sobre o número de vacas ordenhadas e a produção de leite, respectivamente, em nível municipal.

$$\mathbf{Produtividade} = \frac{\mathbf{Produção\ de\ leite\ (L)}}{\mathbf{Número\ de\ vacas\ ordenhadas}} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

*Produtividade*: produtividade da produção de leite no respectivo ano [L/vaca/ano];

*Produção de leite (L)*: produção de leite [Litros];

*Número de vacas ordenhadas*: número de vacas ordenhadas no ano [n° de cabeças/ano]

Para definir se o município possui alta ou baixa produção de leite, será adotada a seguinte métrica: SEEG (2023) considera como alta produção aquela que apresentar uma produtividade igual ou superior a 2000 litros por vaca por ano. Por outro lado, é classificada como baixa produção aquela que apresenta uma produtividade inferior a 2000 litros por vaca por ano. O resultado, expresso pelo número de vacas ordenhadas, será então dividido de acordo com essas categorias de produtividade em nível estadual e poderá ser aplicado à Equação 1.

#### 7.1.2 Dados de atividade municipais do Triângulo Mineiro

Antes de calcular as emissões provenientes da fermentação entérica, é necessário realizar um ajuste (normalização) do número de vacas ordenhadas para evitar valores negativos. Essa situação pode surgir devido à discrepância nos períodos em que foram realizadas as pesquisas do IBGE.

O primeiro passo desse processo de normalização envolve a obtenção do número total de bovinos e de vacas ordenhadas, utilizando as tabelas 3939 (IBGE, 2021) e 94 (IBGE, 2021), respectivamente. Para o período de 1990 a 2022, os dados relativos aos bovinos de corte (BC) foram obtidos por meio da seguinte equação:

$$\mathbf{Bovinos\ de\ corte\ (BC)} = \mathbf{Bovinos\ totais\ (BT)} - \mathbf{Vacas\ ordenhadas\ (VO)} \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

*Bovinos de corte (BC)*: população de bovinos de corte no ano [n° de cabeças]

*Bovinos totais (BT)*: população de bovinos totais no ano [n° de cabeças]

*Vacas ordenhadas (VO)*: população de vacas ordenhadas no ano [n° de cabeças]

Para esse mesmo período foi obtida a proporção de ajuste da população para cada estado, através de:

$$\text{Proporção de ajuste} = \frac{BC_{estado}}{BT_{estado}} \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

*Proporção de ajuste*: proporção de ajuste da população de bovinos de corte por estado [%]

*BCestado*: população de bovinos de corte por estado no ano [n° de cabeças]

*BTestado*: população de bovinos totais do estado no ano [n° de cabeças]

Esse montante é então multiplicado pelo número total de bovinos do município. Desse modo, obtemos o número de bovinos de corte do município ( $BC_{município}$ ) para o período de 1990 a 2022. Com a população de bovinos de corte ajustada para cada município e o número de vacas ordenhadas do município da Tabela 94 (IBGE, 2021d), alcançamos um novo total de bovinos:

$$\text{Novo } BT_{mun} = BC_{mun} + VO_{mun} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:

*Novo  $BT_{mun}$* : população de bovinos totais por município no ano [n° de cabeças]

*$BC_{mun}$* : população de bovinos de corte por município no ano [n° de cabeças]

*$VO_{mun}$* : população de vacas ordenhadas por município no ano [n° de cabeças]

O novo valor de bovino total do município será utilizado na aplicação das etapas supracitadas para obtenção dos dados de atividade a nível municipal.

Etapa 1: Para obtenção das categorias de bovinos menores de 1 ano, entre 1 e 2 anos e touros acima de 2 anos, esta etapa foi realizada como a etapa 1.

Etapa 2: Portanto os dados obtidos na etapa 2 para o estado são utilizados como base para a obtenção da população de outros bovinos acima de 2 anos (confinados) em nível municipal.

$$Bconfinados_{mun} = \frac{BC_{mun} \times BConfinados_{estado}}{BC_{estado}} \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde:

*Bconfinados<sub>mun</sub>*: população de bovinos confinados por município no ano [n° de cabeças]

*BC<sub>mun</sub>*: população de bovinos de corte por município no ano [n° de cabeças]

*BConfinados<sub>estado</sub>*: população de bovinos confinados do estado no ano [n° de cabeças]

*BC<sub>estado</sub>*: população de bovinos de corte por estado no ano [n° de cabeças]

Feito isso, a etapa 2 é aplicada aos municípios de forma igual a descrita anteriormente.

Etapa 3: Por meio da subtração do número de outros bovinos com mais de 2 anos + bovinos leiteiros, é calculado o número de outros bovinos com mais de 2 anos (não confinados). Esse valor servirá como base para determinar os bovinos fêmeas e machos com mais de 2 anos. Para calcular o número de bovinos fêmeas com mais de 2 anos, multiplica-se o valor de outros bovinos com mais de 2 anos (não confinados) pela fração de fêmeas de bovinos de corte com mais de 2 anos não confinados. Com o número de fêmeas com mais de 2 anos determinado, subtrai-se este valor do número de outros bovinos com mais de 2 anos (não confinados) para obter o número de machos com mais de 2 anos. Desta forma, torna-se viável calcular a emissão de CH<sub>4</sub> dessas categorias.

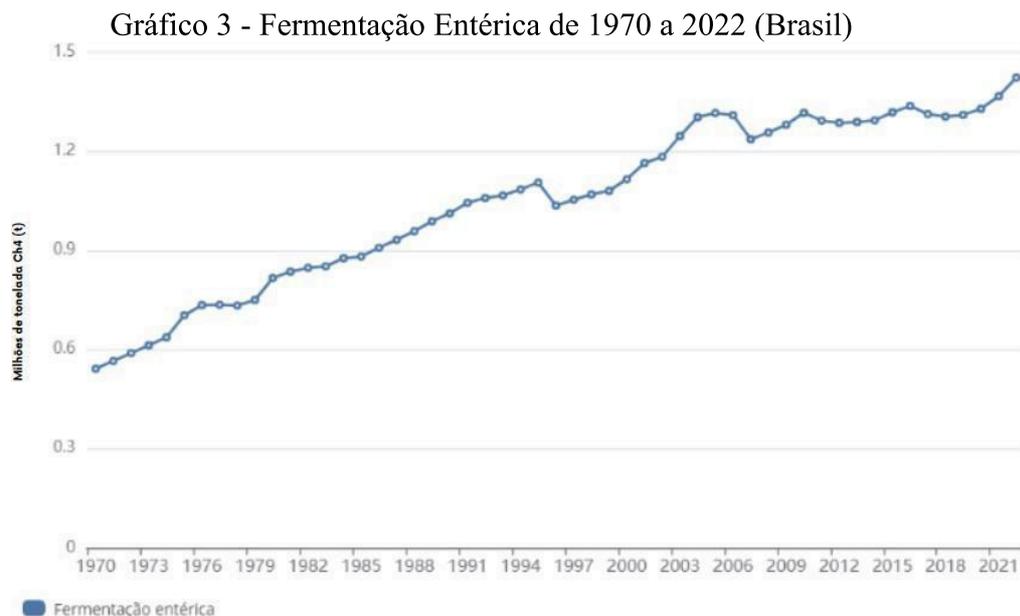
## 8 RESULTADOS

Diante da metodologia de cálculo e considerando a extensão da área abrangida pela pesquisa, o trabalho entra em um terreno de compreensão mais profunda. A magnitude da área estudada, devidamente estimada, fornece uma visão substancial, fundamentada em estimativas precisas e representativas.

A consideração da área de pesquisa amplia a relevância e a validade das conclusões que foram extraídas. Assim, diante da metodologia aplicada e cientes da vastidão territorial investigada, explorasse interpretações mais profundas, almejando contribuir de maneira significativa para o avanço do conhecimento nesta área específica de estudo.

Com o propósito de realizar uma análise comparativa e obter uma visão abrangente da problemática em um contexto nacional, foram reunidos dados tanto do território brasileiro como do estado de Minas Gerais no contexto atual. No âmbito nacional, o Brasil possui, conforme o PPM (2022), aproximadamente 234.352.649 cabeças de gado, distribuídas em 2.554.415 estabelecimentos. Conforme destacado anteriormente, o estado do Mato Grosso apresenta o maior percentual de cabeças de gado no Brasil. Esses números refletem a significativa presença da pecuária no cenário nacional, evidenciando a importância do setor para a economia do país.

Dentro dessa perspectiva, o trabalho se dedicou a realizar uma análise aprofundada do cenário relacionado à estimativa da quantificação de emissões de metano provenientes da fermentação entérica ao longo dos anos investigados na pesquisa. Observou-se que, ao longo de 52 anos, o Brasil já lançou aproximadamente 1 bilhão de toneladas de metano na atmosfera (Gráfico 3). Destacando em sim a relevância e as implicações desses números expressivos de emissão de metano pelo Brasil ao longo de cinco décadas.

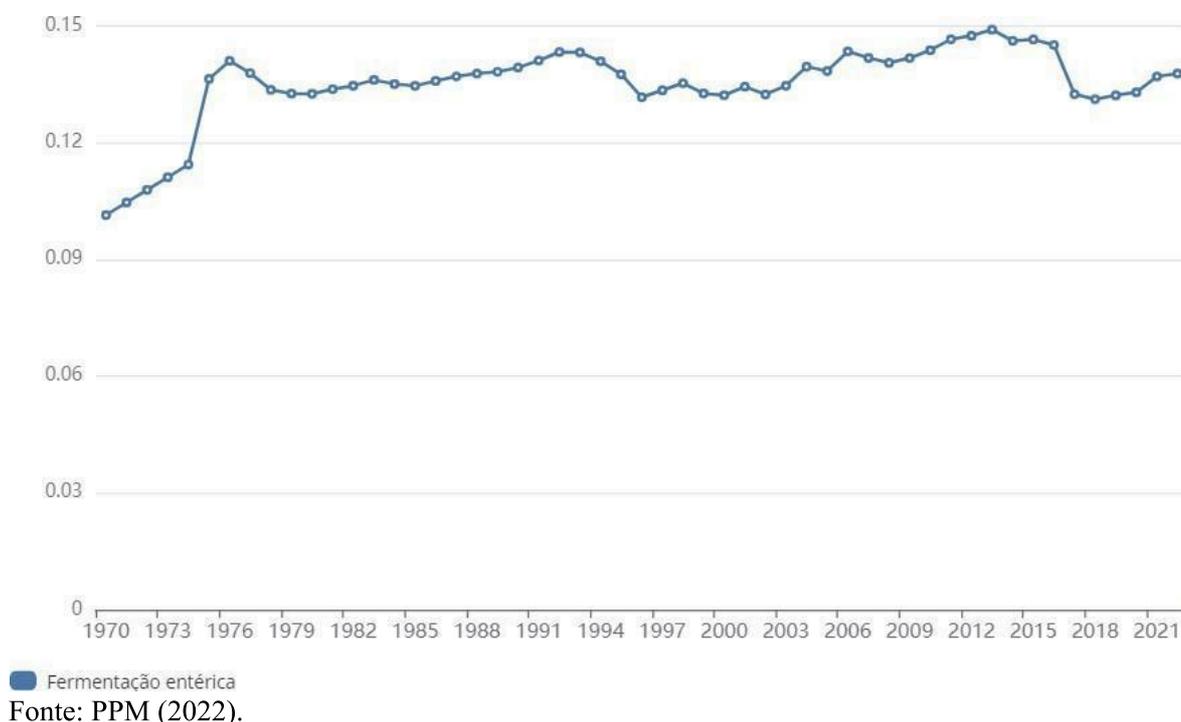


Fonte: SEEG (2022).

Após a análise do contexto nacional, o foco agora se estreita para uma compreensão mais detalhada da realidade mineira. Em Minas Gerais, o quantitativo de cabeças de gado totaliza cerca de 22.993.105, distribuídas em 385.488 estabelecimentos (PPM, 2022). Dentre as cidades do estado, destaca-se Prata, cidade situada na mesorregião do Triângulo Mineiro, como um ponto de referência no setor pecuário (IBGE, 2024).

Ao longo de 52 anos, constatou-se a emissão de quase 100 milhões de toneladas de metano (Gráfico 3), destacando a significativa contribuição dessa região no âmbito nacional. Esses resultados ressaltam a importância de considerar as disparidades regionais nas emissões de gases de efeito estufa.

Gráfico 4 - Fermentação Entérica de 1970 a 2022 (Minas Gerais)



Por fim, no contexto final do trabalho, foi analisado o Triângulo Mineiro, onde foi estabelecida uma análise mais refinada, onde dividiu-se o território em suas sete microrregiões. Essa abordagem fragmentada permitiu uma compreensão mais minuciosa das particularidades dessa mesorregião.

Ao explorar as características específicas de cada microrregião, foi identificado padrões distintos nas atividades agrícolas, condições climáticas e práticas pecuárias que contribuem para as emissões de metano. A fragmentação da análise, ao se concentrar em microrregiões individuais, proporcionou uma visão mais detalhada e localizada do impacto das emissões de fermentação entérica.

Ao comparar esses resultados com o cenário nacional e estadual, foi possível discernir a contribuição relativa do Triângulo Mineiro para as emissões totais de metano no Brasil e em Minas Gerais. Essa análise comparativa é crucial para destacar a relevância dessa mesorregião no contexto mais amplo, fornecendo uma visão valiosa para a tomada de decisões e o desenvolvimento de políticas específicas.

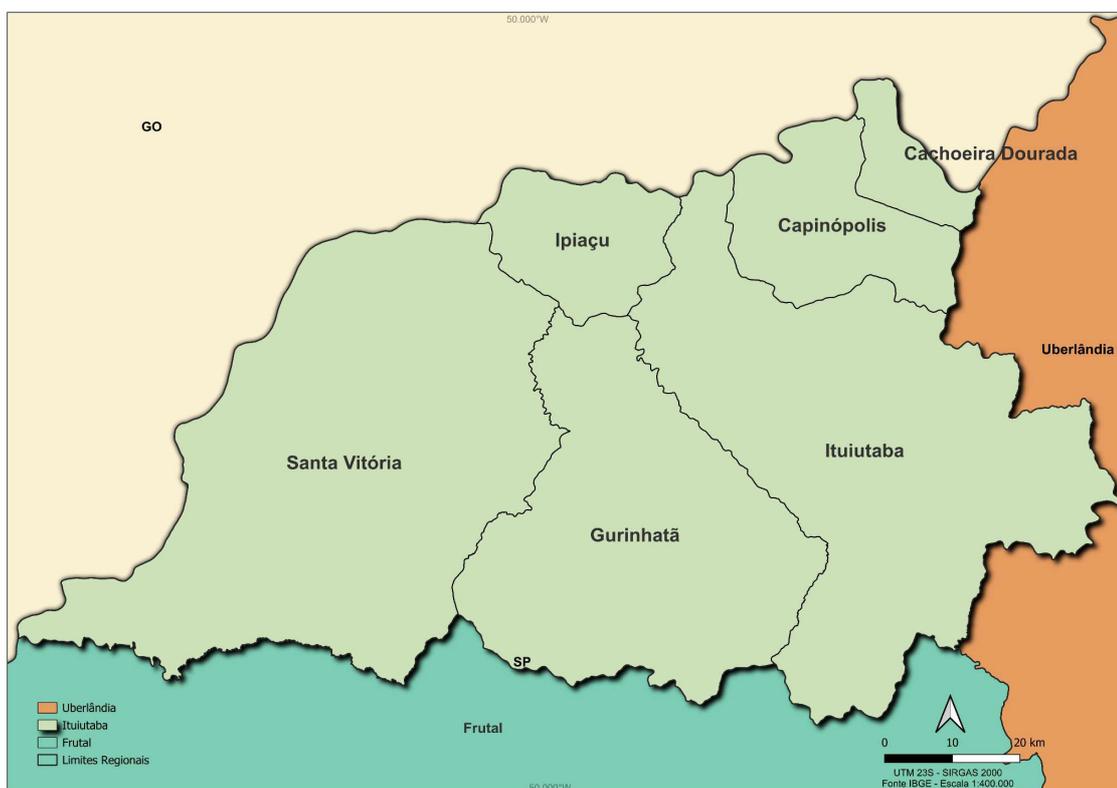
O Triângulo Mineiro é representado por 66 municípios, divididos em sete microrregiões. Para a análise, foram consideradas as emissões originadas da fermentação entérica ao longo de um período de 52 anos (1970-2022). Esse intervalo abrange o início do

notável crescimento da pecuária do Triângulo Mineiro, estendendo-se até os anos mais recentes, nos quais dispomos de dados para análise. Essa escolha temporal permite uma compreensão abrangente das mudanças nas emissões ao longo de um período significativo, coincidindo com a expansão e evolução da atividade pecuária na região do Triângulo Mineiro.

### 8.1 MICRORREGIÃO DE ITUIUTABA

No contexto desses 66 municípios, a análise se inicia pela Microrregião de Ituiutaba, composta por 6 municípios (Figura 6) . Essa microrregião abrange aproximadamente 143.348 habitantes e ocupa uma área total de 8.728,0 km<sup>2</sup> (IBGE, 2022).

Figura 6 - Microrregião de Ituiutaba



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Tabela 7 - Microrregião de Ituiutaba

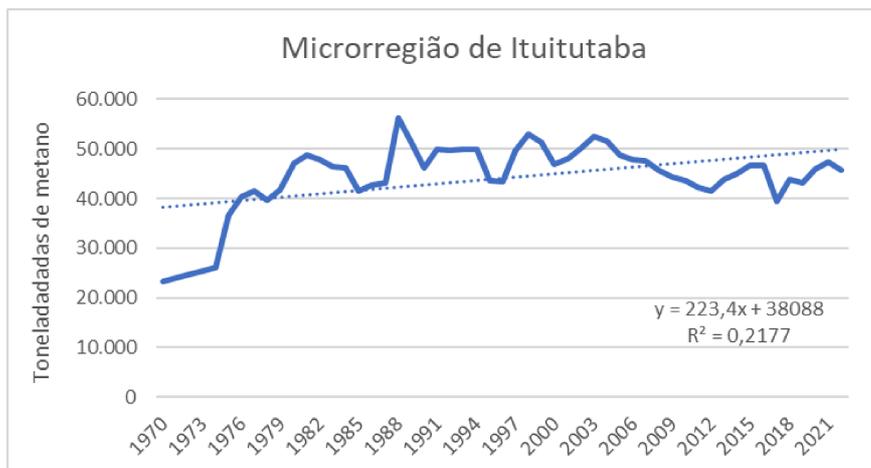
Nome da Mesorregião	Nome da Microrregião	Município
Triângulo Mineiro	Ituiutaba	Cachoeira Dourada
		Capinópolis
		Gurinhatã
		Ipiacu
		Ituiutaba
		Santa Vitória

Fonte: IBGE (2024).

A pecuária leiteira emerge como elemento relevante na organização socioespacial desses municípios. Essa atividade apresenta distintos níveis de desenvolvimento, com maior intensidade observada em Ituiutaba e Santa Vitória, devido à presença de laticínios e captadoras de leite, a última inclusive corresponde ao 5º maior rebanho novinho de Minas Gerais (SOUTO, 2017). O município de Gurinhatã também se destaca, beneficiando-se da proximidade com essas estruturas. Em contraste, Cachoeira Dourada, Capinópolis e Ipiacu contribuem com uma participação menor, influenciada pela aptidão dos produtores e pela atuação dos órgãos e instituições de amparo e assistência agropecuária (SOUTO, 2021).

A produção de leite nessas localidades se configura como uma alternativa frente à expansão das monoculturas, como soja e cana-de-açúcar. Este posicionamento representa uma forma de resistência a essa expansão, ressaltando a importância da diversificação agrícola e da preservação da atividade pecuária leiteira como elemento fundamental na configuração socioeconômica desses municípios.

Gráfico 5 - Fermentação Entérica de 1970 a 2022 (Ituiutaba)



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

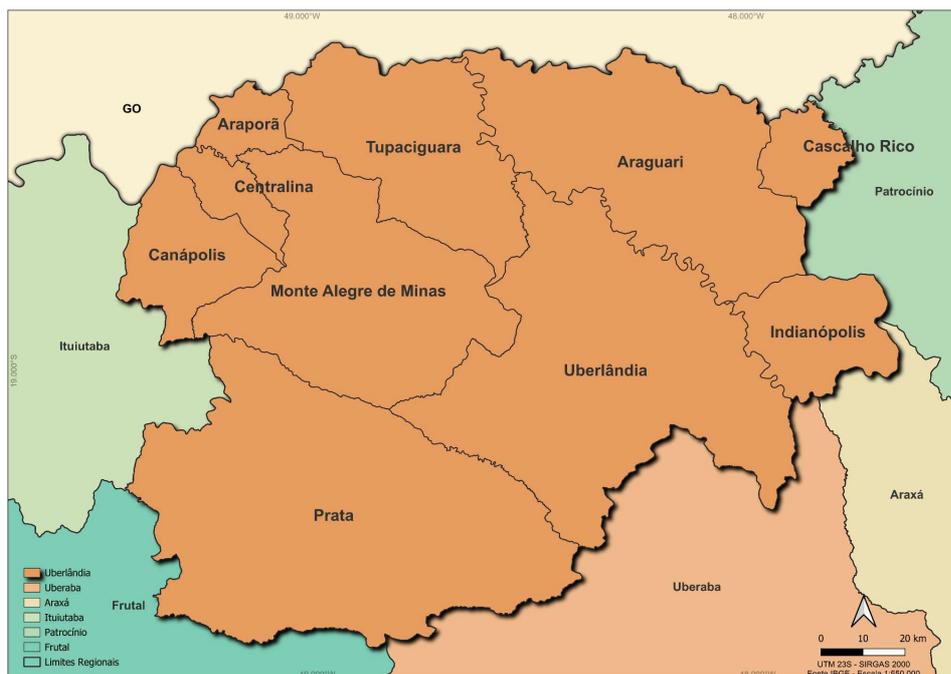
A análise dos dados revela que a tendência geral do período é de crescimento, conforme indicado pela reta de tendência ( $y = 223,4x + 38088$ ). Essa equação revela que, em média, as emissões aumentaram 223,4 toneladas de metano por ano. No entanto, o coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,2177$ ) é relativamente baixo, sugerindo que fatores além do tempo desempenharam um papel relevante na variação das emissões.

O período inicial é marcado por um aumento significativo nas emissões de metano, relacionado à intensificação da pecuária bovina na região. Essa expansão é explicada pelo aumento da demanda por carne e leite, bem como pela modernização das práticas agropecuárias na época. A partir de meados da década de 1980, as emissões de metano estabilizam-se em torno de um patamar entre 40.000 e 50.000 toneladas anuais. Contudo, observa-se a presença de picos e quedas em certos anos. Essas oscilações podem ser atribuídas a fatores climáticos, como secas ou excesso de chuvas, bem como a aspectos econômicos e políticos que influenciam diretamente a produção pecuária. Nos anos mais recentes, há indícios de uma leve redução nas emissões de metano, rompendo a tendência de crescimento contínuo observada nas décadas anteriores. Esse comportamento é evidenciado pela substituição gradual da atividade pecuária, representada pelo gado, por plantações de cana-de-açúcar e soja (TEIXEIRA, 2020). Essa mudança de padrão agrícola é apontada como um fator contribuinte para a diminuição das emissões de metano na microrregião durante o início do século XXI até os anos atuais. Essa transformação, além de impactar diretamente a composição das emissões na atmosfera, reflete uma alteração nos padrões econômicos e produtivos da região. Estimou-se que a microrregião foi responsável por lançar na atmosfera cerca de 2 milhões de toneladas de metano para atmosfera durante os anos abordados.

## 8.2 MICRORREGIÃO DE UBERLÂNDIA

A microrregião de Uberlândia, composta por 10 municípios (Figura 7) incluindo a cidade de Prata, que se destaca como detentora do maior rebanho bovino do Estado (IBGE, 2024), além de figurar entre as principais produtoras de leite do Brasil.

Figura 7 - Microrregião de Uberlândia



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

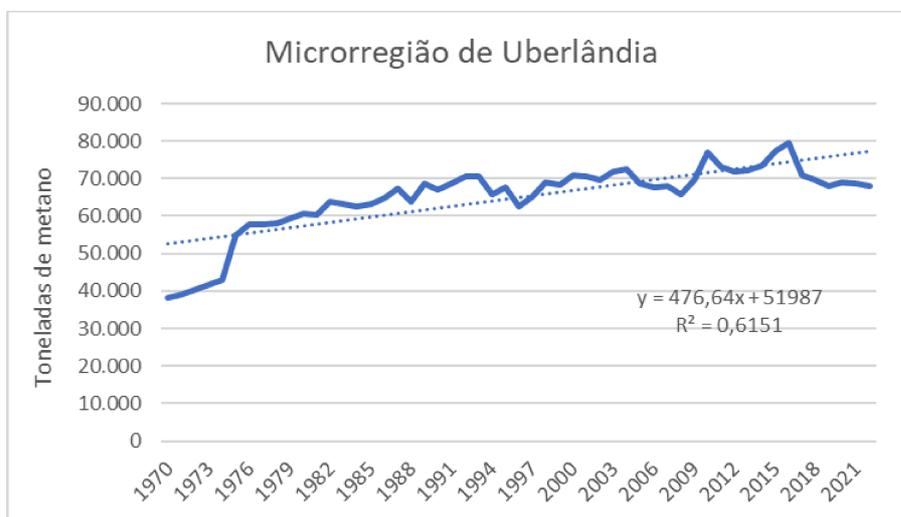
Tabela 8 - Microrregião de Uberlândia

Nome da Mesorregião	Nome da Microrregião	Município
Triângulo Mineiro	Uberlândia	Araguari
		Araporã
		Canápolis
		Cascalho Rico
		Centralina
		Indianópolis
		Monte Alegre de Minas
		Prata
		Tupaciguara
		Uberlândia

Fonte: IBGE (2024).

Essa microrregião desempenha um papel crucial na atividade pecuária, concentrando suas atenções tanto na pecuária de corte quanto na de leite. Ambos os sistemas são caracterizados pela pecuária extensiva, indicando uma prática que se estende por grandes áreas e que historicamente tem sido um componente essencial da economia local. A expressiva participação dessa microrregião na produção de leite e no rebanho bovino do estado destaca sua relevância para o setor agropecuário regional e nacional (CARVALHO, 2007). Esta microrregião, ao contrário da microrregião de Ituiutaba, ainda se perpetua como a pecuária como sua principal atividade econômica e por conta disso apresenta altos índices de emissões advindas da fermentação entérica (Gráfico 6).

Gráfico 6 - Fermentação Entérica de 1970 a 2022 (Uberlândia)



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Comparada a outras regiões, Uberlândia apresenta diferenças significativas no comportamento das emissões de metano, refletindo sua posição de destaque no setor pecuário do Triângulo Mineiro. Com um volume de emissões mais elevado, a região demonstra uma correlação temporal mais consistente, sugerindo um crescimento linear e menos influenciado por fatores externos. Além disso, o declínio nas emissões nos últimos anos é menos acentuado, indicando que as iniciativas sustentáveis ainda estão em estágio inicial.

A equação da reta de tendência ( $y = 476,64x + 51.987$ ) revela um aumento médio anual de 476,64 toneladas de metano durante o período analisado. O coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,6151$ ) evidencia uma correlação significativa entre o tempo e o aumento das emissões, apontando para um padrão de crescimento relativamente previsível. Nas décadas iniciais, registrou-se um aumento expressivo das emissões, em sintonia com a intensificação da pecuária na região, impulsionada pelo crescimento econômico e pela

modernização das práticas agropecuárias.

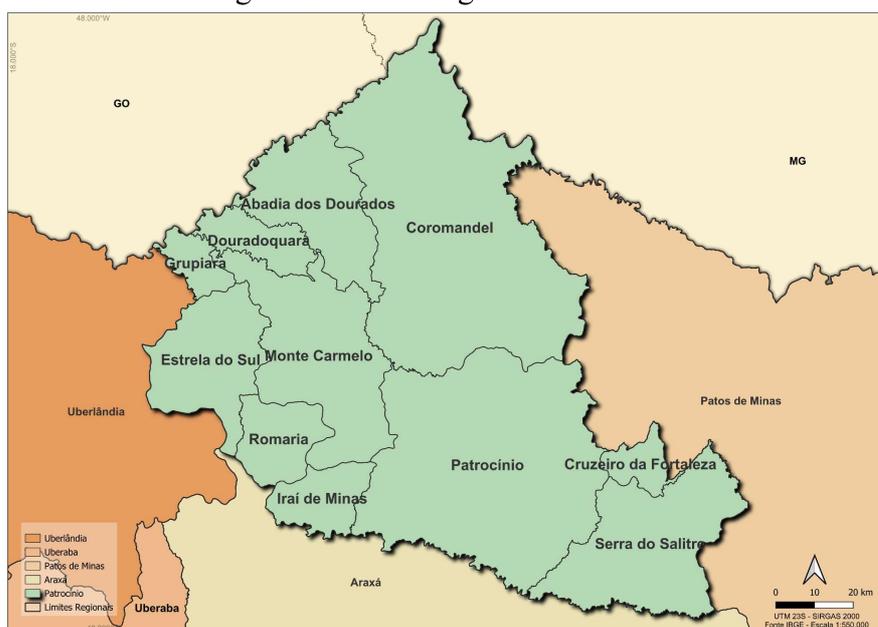
A partir da década de 1990, as emissões se estabilizaram em níveis elevados, variando entre 70.000 e 80.000 toneladas anuais, embora picos e quedas pontuais tenham ocorrido, especialmente após 2010. Esses comportamentos refletem a influência de fatores como eventos climáticos extremos, oscilações no mercado agropecuário e mudanças nas políticas econômicas. Desde 2015, observa-se uma leve redução nas emissões, indicando o início da adoção de práticas mais sustentáveis, como tecnologias para redução de metano, manejo eficiente do rebanho e esforços para mitigar os impactos ambientais da pecuária.

O comportamento das emissões de metano na microrregião de Uberlândia reflete a dinâmica histórica da pecuária, destacando seu papel central na economia regional e seus impactos ambientais. Embora o crescimento inicial tenha sido acentuado, as tendências recentes apontam para a urgência de práticas mais sustentáveis. O declínio moderado nas emissões demonstra o potencial de tecnologias mitigadoras e políticas ambientais em equilibrar a produção agropecuária com a redução de gases de efeito estufa.

### 8.3 MICRORREGIÃO DE PATROCÍNIO

A microrregião de Patrocínio, é composta por 11 municípios (Figura 8), cada qual com suas peculiaridades, a região é um retrato vívido da diversidade e importância desse setor para a economia local e nacional (PASTRANA, 2014).

Figura 8 - Microrregião de Patrocínio



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Tabela 9 - Microrregião de Patrocínio

Nome da Mesorregião	Nome da Microrregião	Município
Triângulo Mineiro	Patrocínio	Abadia dos Dourados
		Coromandel
		Cruzeiro da Fortaleza
		Douradoquara
		Estrela do Sul
		Grupiara
		Iraí de Minas
		Monte Carmelo
		Patrocínio
		Romaria
		Serra do Salitre

Fonte: IBGE (2024).

Abadia dos Dourados despontou por anos como um dos principais produtores de leite do estado, atingindo seu ápice em 2016, com uma impressionante produção de 65 milhões de litros, provenientes de cerca de 15 mil vacas ordenhadas (IBGE, 2024). Inclusive sendo o ano em que mais emitiu CH<sub>4</sub> para atmosfera. No entanto, o cenário mudou nos anos seguintes, com a cidade redirecionando parte de suas atividades para o cultivo de milho e soja, embora a pecuária ainda seja uma parte essencial de sua economia.

Coromandel, por sua vez, possui uma tradição pecuária que remonta aos primórdios de sua história, quando a região servia como ponto de parada para viajantes. Desde então, a criação de gado se tornou uma parte intrínseca da vida e economia local, com um contingente de mais de 100 mil cabeças de gado (IBGE, 2024), refletindo a importância contínua da pecuária para a sustentabilidade econômica da região (BORTOLETTO, 2012).

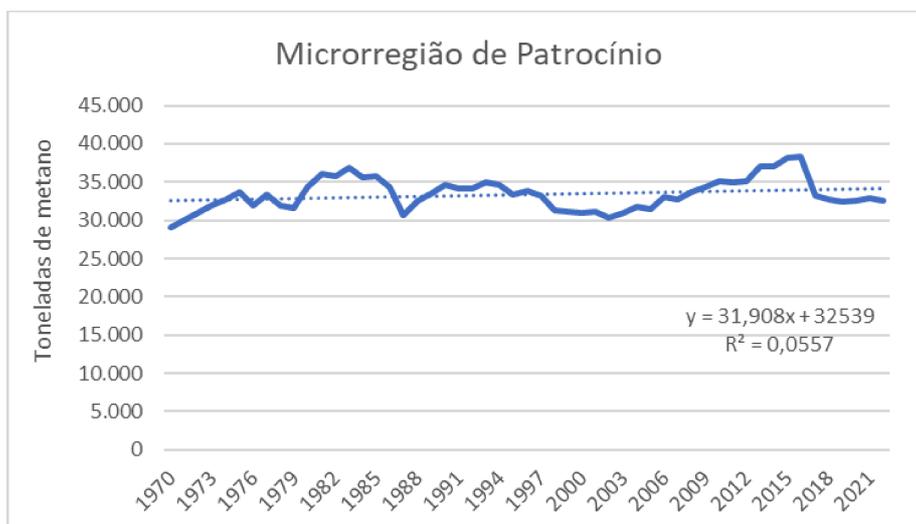
Segundo o IBGE (2024), Cruzeiro da Fortaleza mantém-se firme na pecuária, registrando um crescimento modesto em seu efetivo de gado nos últimos anos. Douradoquara, embora tradicionalmente dependente da pecuária, vem diversificando suas atividades com o avanço da agricultura, mas ainda mantém a criação de gado como uma parte significativa de sua economia.

Estrela do Sul, apesar de sua população modesta, sustenta uma média consistente de 50 mil cabeças de gado, destacando a importância contínua da pecuária na região. Grupiara e Iraí de Minas, embora com participações modestas, contribuem de forma significativa para o setor, mostrando como a pecuária é uma atividade disseminada em toda a microrregião

(IBGE, 2024). Monte Carmelo, conhecido por sua produção diversificada, ainda mantém um grande contingente de gado, o que demonstra a sinergia entre a pecuária e outras atividades agrícolas na região (MARQUES, 2017).

Patrocínio, o verdadeiro destaque da microrregião, é reconhecido como um dos principais polos de pecuária do Brasil. Com a maior produção de leite do estado e o segundo maior efetivo de bovinos do país, a cidade é um exemplo do potencial e da importância da pecuária para o desenvolvimento econômico regional (PASTRANA, 2014). Romaria, se perpetua com uma base econômica na mineração (PEREIRA, 2021). Serra do Salitre, focada principalmente no café, também valoriza a criação de gado, especialmente na produção leiteira (SOUZA, 2018).

Gráfico 7 - Fermentação Entérica de 1970 a 2022 (Patrocínio)



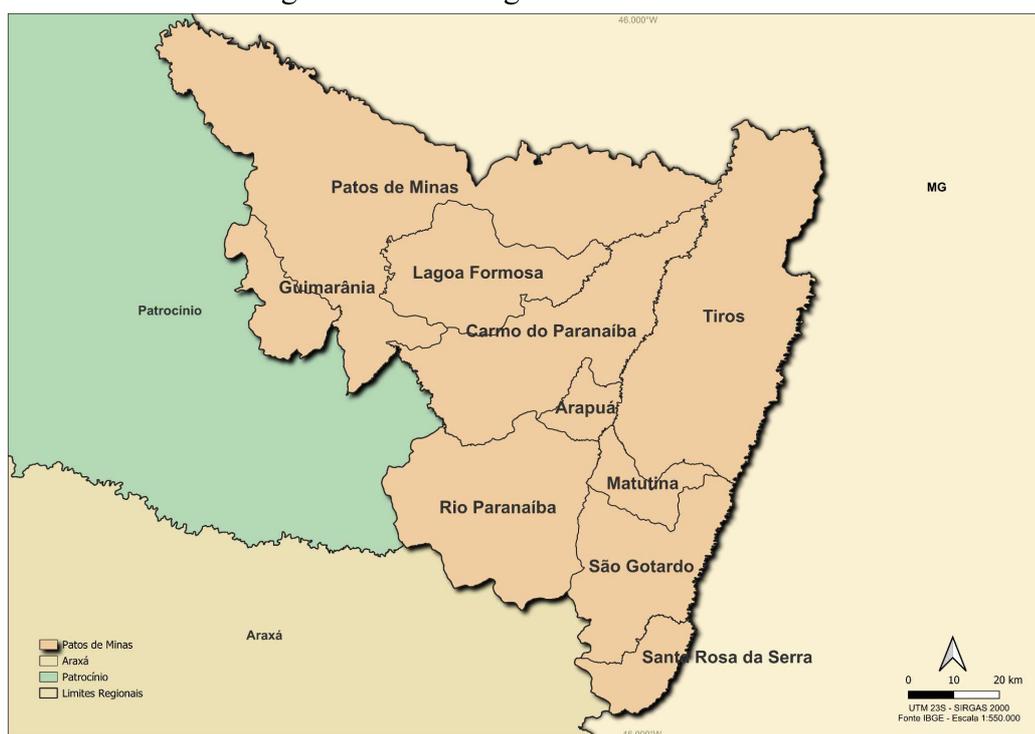
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Ao longo dos 52 anos analisados, a microrregião emitiu aproximadamente 2 milhões de toneladas de emissões. A reta de tendência ( $y=31,908x+32539$ ) indica um crescimento médio anual de apenas 31,91 toneladas de metano, evidenciando uma estabilidade considerável nas emissões. O coeficiente de determinação ( $R^2=0,0557$ ) é muito baixo, sugerindo que o tempo tem pouca influência direta sobre as variações nas emissões. Entre 1970 e 1985, as emissões apresentaram um leve crescimento, característico do início da intensificação da pecuária na região. No entanto, esse aumento é menos expressivo quando comparado a outras microrregiões. O período de 1985 a 2015 é marcado por oscilações em torno de um patamar de 30.000 a 35.000 toneladas anuais. Após 2015, observa-se uma queda nas emissões, semelhante ao comportamento de outras microrregiões, mas em menor intensidade.

#### 8.4 MICRORREGIÃO DE PATOS DE MINAS

A microrregião de patos de minas é composta por 10 municípios (Figura 9). Diferente das outras microrregiões apontadas na pesquisa, Patos de Minas é a única região que deteve um crescimento dos últimos anos no seu quantitativo de gado e consequentemente nas suas emissões (IBGE, 2024).

Figura 9 - Microrregião de Patos de Minas



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Tabela 10 - Microrregião de Patos de Minas

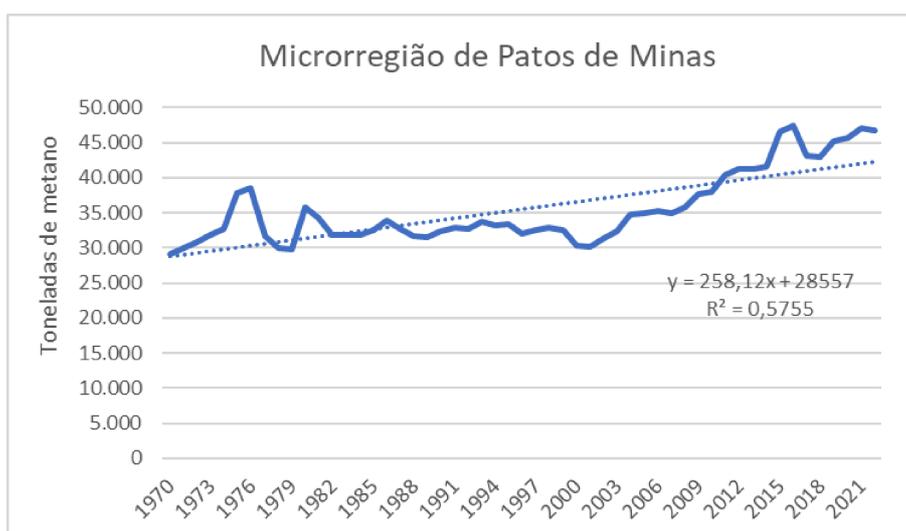
Nome da Mesorregião	Nome da Microrregião	Município
Triângulo Mineiro	Patos de Minas	Arapuá
		Carmo do Paranaíba
		Guimarânia
		Lagoa Formosa
		Matutina
		Patos de Minas
		Rio Paranaíba
		Santa Rosa da Serra
		São Gotardo
		Tiros

Fonte: IBGE (2024).

O município de Patos de Minas, é considerado o principal responsável por esse feito já que destaca-se, por exemplo, no cenário da pecuária leiteira, sendo considerado o maior produtor de leite de Minas Gerais e o segundo maior do país (G1, 2024).

Carmo da Paranaíba, Lagoa Formosa, Santa Rosa da Serra e Rio Paranaíba, dentro do contexto das cidades desta região, não se apresentam como economias direcionadas para a pecuária e, portanto, não têm tanta importância nesse contexto (IBGE, 2024). Matutina baseia sua economia principalmente na pecuária leiteira, mas também na criação de gado de corte, contando com muitas indústrias de laticínios. São Gotardo, apesar de não ter uma economia voltada para a pecuária, é um dos municípios mais importantes da região. Tiros já se configura como uma cidade importante na cultura do café e da mineração (MELO, 2017).

Gráfico 8 - Fermentação Entérica de 1970 a 2022 (Patos de Minas)



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

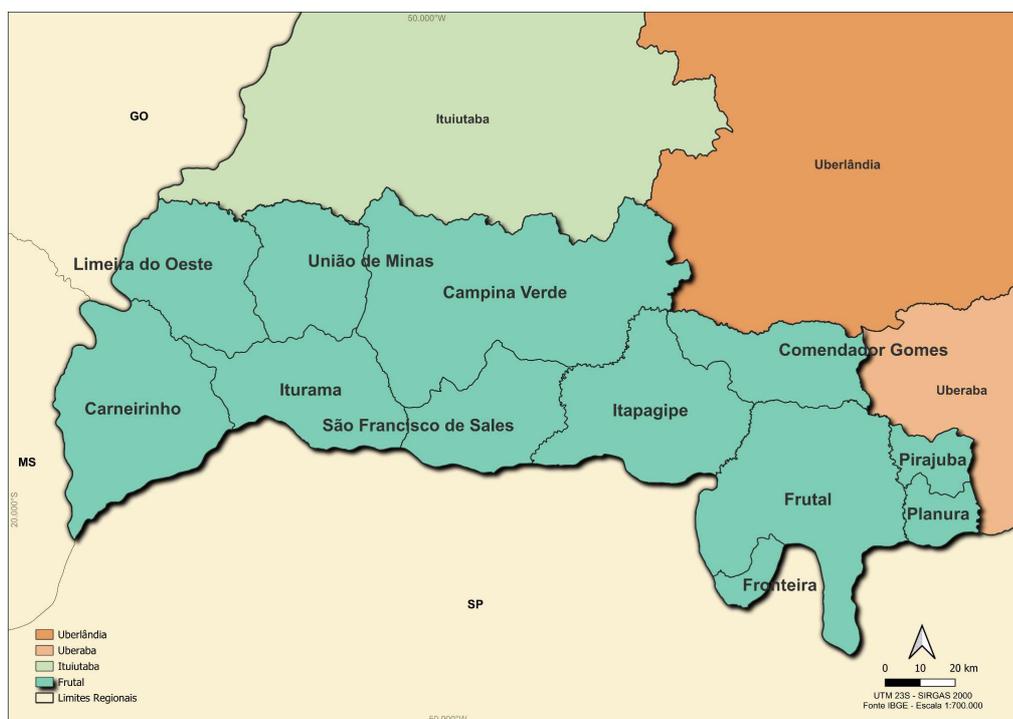
O crescimento contínuo nas emissões de Patos de Minas é comparável ao observado em Uberlândia, porém menos intenso. O perfil da pecuária em ambas as regiões reflete um padrão de intensificação produtiva. A equação da reta de tendência ( $y=258,12x+28557$ ) indica um aumento médio anual de 258,12 toneladas de metano. O coeficiente de determinação ( $R^2=0,5755$ ) demonstra uma relação moderadamente forte entre o tempo e o crescimento das emissões, indicando uma evolução significativa, mas com oscilações no período. Nos anos iniciais, observa-se um comportamento irregular, com flutuações significativas nas emissões, especialmente entre 1975 e 1980. Essas variações refletem nos ajustes no setor pecuário, como expansão inicial das atividades e variações na gestão da produção. Entre 1985 e 2005, as emissões se mantiveram estáveis, oscilando em torno de 30.000 a 35.000 toneladas. Esse período é marcado por um equilíbrio entre crescimento do rebanho e limitações no aumento

da produtividade. A partir de 2005, observa-se um crescimento mais consistente e acentuado nas emissões, atingindo aproximadamente 50.000 toneladas em 2021. Essa fase está associada à modernização e intensificação das práticas pecuárias, como a adoção de tecnologias que aumentaram a eficiência produtiva.

## 8.5 MICRORREGIÃO DE FRUTAL

A microrregião de Frutal se destaca por abrigar o maior contingente de cidades em comparação com outras microrregiões mencionadas nesta pesquisa, totalizando 12 municípios (Figura 10).

Figura 10 - Microrregião de Frutal



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Tabela 11 - Microrregião de Frutal

Nome da Mesorregião	Nome da Microrregião	Município
Triângulo Mineiro	Frutal	Campina Verde
		Carneirinho
		Comendador Gomes
		Fronteira
		Frutal
		Itapajipe
		Iturama
		Limeira do Oeste
		Pirajuba
		Planura
		São Francisco de Sales
União de Minas		

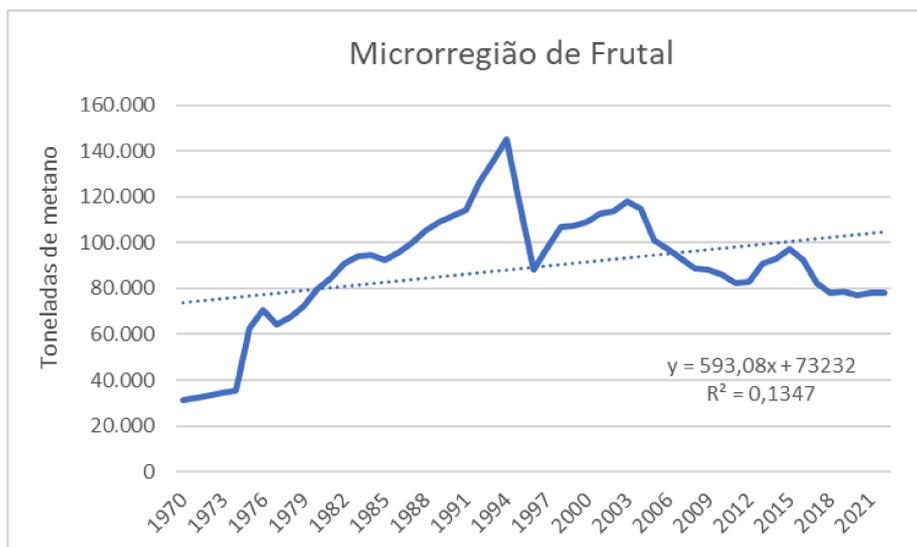
Fonte: IBGE (2024).

O município de Campina Verde tem na pecuária sua principal fonte econômica, além da agricultura, com foco em uma criação em grande escala (OLIVEIRA, 2019) possuindo também o segundo maior rebanho bovino do estado (IBGE, 2024).

A criação de gado bovino é uma atividade tradicional em Carneirinho e Comendador Gomes, contribuindo significativamente para suas economias locais. Itapajipe é economicamente impulsionada pelo agronegócio e pela agroindústria, especialmente na produção de proteína animal. Diferentemente das demais cidades, Iturama tem sua economia centrada na agricultura, com o cultivo de cana-de-açúcar. A pecuária de corte em Limeira do Oeste é uma importante fonte de emprego para seus habitantes, enquanto Fronteira tem sua economia baseada na pecuária leiteira (BORGES, 2020).

Pirajuba, desde 1830, atraiu sertanistas devido à qualidade de suas pastagens, propícias para a criação de gado, o que tornou a pecuária uma das principais atividades econômicas do município, junto com a agricultura, especialmente o cultivo de cana-de-açúcar (SOUZA, 2012). Planura tem uma fonte econômica diversificada, mas a pecuária é sua principal atividade econômica. São Francisco de Sales baseia sua economia na agropecuária, com destaque para o cultivo de cana-de-açúcar, pecuária bovina e produção de leite (SOUZA, 2012). União de Minas tem sua economia baseada principalmente na agricultura e pecuária, com destaque para o cultivo de cana-de-açúcar e soja. A cidade também é reconhecida pela produção de queijo, um produto tradicional da região (OLIVEIRA, 2016).

Gráfico 9 - Fermentação Entérica de 1970 a 2022 (Frutal)



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O Gráfico 9 demonstra que durante o período de 1970 a 1995, as emissões cresceram de forma significativa, alcançando valores próximos de 150.000 toneladas no pico observado em meados da década de 1990. Essa fase reflete uma expansão acelerada da pecuária, que pode ser impulsionada pelo aumento do rebanho bovino e pela intensificação das atividades agropecuárias.

Após atingir o pico em 1995, houve uma redução acentuada nas emissões, que retornaram a níveis próximos de 100.000 toneladas. Essa queda pode ser explicada por mudanças econômicas ou estruturais no setor pecuário.

De 2000 em diante, as emissões apresentaram oscilações moderadas em torno de 80.000 a 100.000 toneladas, com um leve crescimento sugerido pela equação da tendência ( $y=593,08x+73232$ ). Apesar disso, o coeficiente de determinação ( $R^2=0,1347$ ) é baixo, indicando que o crescimento não é um padrão forte e as variações são influenciadas por outros fatores além do tempo.

A microrregião de Frutal apresenta um perfil peculiar, com crescimento acelerado, seguido por um declínio significativo e estabilização em níveis moderados. A história das emissões sugere uma fase inicial de intensificação da pecuária, seguida por ajustes estruturais que equilibraram as emissões nas últimas décadas. Embora os valores de emissão tenham se estabilizado, a baixa aderência da tendência ao tempo ( $R^2$ ) sugere a influência de outros fatores, como políticas públicas e condições de mercado. A adoção de práticas sustentáveis permanece como um desafio e uma oportunidade para a região.

## 8.6 MICRORREGIÃO DE UBERABA

A microrregião de Uberaba é formada por sete municípios (Figura 11). Ao longo dos anos, essa região floresceu em importância, especialmente no setor agrícola, embora também tenha desempenhado um papel significativo na pecuária (FERREIRA, 2020)

Figura 11 - Microrregião de Uberaba



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Tabela 12 - Microrregião de Uberaba

Nome da Mesorregião	Nome da Microrregião	Município
Triângulo Mineiro	Uberaba	Água Comprida
		Campo Florido
		Conceição das Alagoas
		Conquista
		Delta
		Uberaba
		Veríssimo

Fonte: IBGE (2024).

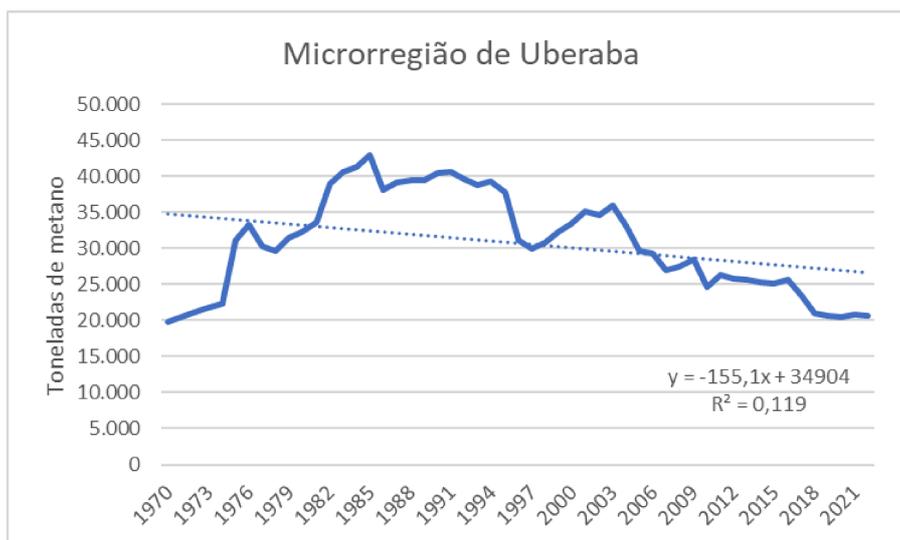
Campo Florido, Conquista e Delta emergiram como protagonistas no cultivo de cana-de-açúcar, impulsionando assim o setor agrícola da região para o cenário nacional (INÁCIO, 2014; TAMBORIN, 2021). Conceição das Alagoas, embora não se concentre primariamente na pecuária, demonstra um crescimento econômico notável em comparação

com outras localidades da microrregião (IBGE, 2024).

Uberaba alcançou reconhecimento nacional como a "Capital Brasileira do Zebu". Sua notoriedade reside na realização da Expozebu, um evento de renome internacional que destaca o aprimoramento genético e a expansão da pecuária, embora a cidade também tenha se destacado em outros setores econômicos (JÚNIOR, 2018). Já Veríssimo, com uma economia mais diversificada, ainda encontra na pecuária de corte e de leite uma de suas principais fontes de receita, evidenciando a importância contínua desse setor na região (ALMEIDA, 2013).

Assim, a microrregião de Uberaba se destaca como um epicentro econômico regional, onde a agricultura e a pecuária, embora fundamentais, convivem harmoniosamente com outras atividades econômicas, criando um ambiente propício para o desenvolvimento sustentável e a prosperidade local.

Gráfico 10 - Fermentação Entérica de 1970 a 2022 (Uberaba)



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O Gráfico 10 ilustra a transição econômica observada nesta microrregião, que passou de uma predominância da pecuária para uma economia fortemente orientada ao cultivo de cana-de-açúcar e soja. Essa transformação estrutural é corroborada pela análise das emissões, que mostram uma redução significativa a partir do início do século XXI. Essa microrregião, em contraste com outras microrregiões, destaca-se por uma tendência decrescente na emissão de metano ao longo do período, conforme evidenciado pela linha de tendência com equação ( $y = -155,1x + 34904$ ) o que sugere um declínio acelerado na atividade pecuária. Esse fenômeno pode ser interpretado como uma resposta estratégica às pressões econômicas e

ambientais contemporâneas, favorecendo a rápida conversão para uma economia agrícola baseada em culturas de alto valor agregado.

O coeficiente angular negativo indica uma redução média anual de 155,1 toneladas. O valor de  $R^2 = 0,191$  sugere que a linha de tendência explica apenas 11,9% da variação nos dados, o que indica uma baixa correlação linear. Isso significa que as flutuações nos dados reais não seguem exatamente a tendência linear.

## 8.7 MICRORREGIÃO DE ARAXÁ

A microrregião de Araxá é composta por 10 municípios (Figura 12). Destacando-se nesse cenário está a cidade de Araxá, onde a pecuária assume um papel de destaque.

Figura 12 - Microrregião de Araxá



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Tabela 13 - Microrregião de Araxá

Nome da Mesorregião	Nome da Microrregião	Município
Triângulo Mineiro	Araxá	Araxá
		Campos Altos
		Ibiá
		Nova Ponte
		Pedrinópolis
		Perdizes
		Pratinha
		Sacramento
		Santa Juliana
Tapira		

Fonte: IBGE (2024).

Caracterizada por um nível tecnológico significativamente superior ao do restante do estado, Araxá se firma como um polo de referência na criação de gado e produção de carne (ZOCCAL, 2019).

Já em Campos Altos, a pecuária leiteira é a principal fonte econômica, com destaque especial para a produção do renomado "Queijo Araxá". Reconhecido por sua qualidade e sabor incomparáveis, este queijo é um verdadeiro tesouro gastronômico da região, conferindo prestígio e reconhecimento internacional (SALES, 2015).

Por sua vez, a cidade de Ibiá se destaca na agricultura, impulsionada por solos férteis e um clima favorável (SOUZA, 2011). Baseada na produção de pastagens e derivados do leite, como o famoso queijo, Ibiá mantém uma produção leiteira expressiva, figurando entre as principais cidades do Brasil nesse setor. Em 2006, sua produção leiteira alcançou o topo do ranking nacional, conferindo-lhe o título de "Capital Nacional do Leite" (PREFEITURA IBIÁ, 2024).

Enquanto isso, Nova Ponte e Pedrinópolis apresentam uma economia mais diversificada, apesar disso, essas cidades também abrigam um considerável número de rebanhos bovinos, evidenciando a importância da pecuária (IBGE, 2024).

Na cidade de Perdizes, a pecuária assume um papel fundamental na geração de renda, posicionando-a em uma respeitável terceira posição no ranking das cidades mineiras (IBGE, 2024), ficando atrás apenas de Uberaba e Unaí. A cidade também tem sua base econômica voltada à plantação de soja (CORREA, 2017).

Pratinha, apesar de não ser uma cidade de grande porte, desempenha um papel relevante nesse contexto. Surpreendentemente, apresenta um rebanho bovino três vezes maior

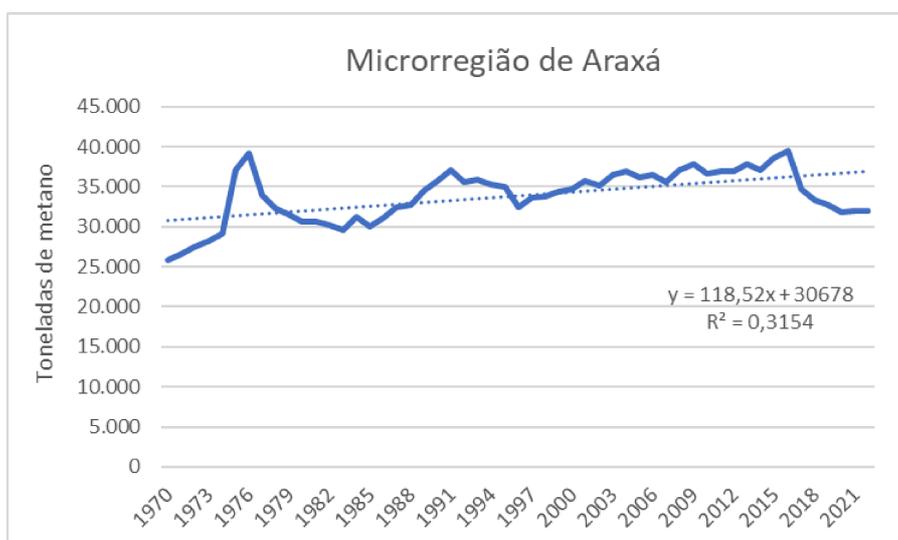
que sua própria população, evidenciando a importância da atividade pecuária para a economia local (IBGE, 2024)

Já em Sacramento, a pecuária se destaca como principal fonte econômica, com a produção de cerca de 100 mil cabeças de gado. Essa atividade sustenta a economia local e contribui significativamente para o desenvolvimento da região (IBGE, 2024).

Santa Juliana, por sua vez, tem na pecuária sua segunda fonte econômica, com ênfase no rebanho bovino. Sua principal fonte econômica se baseia na plantação de arroz e milho (GOMES, 2002).

Por fim, destaca-se a cidade de Tapira, que, apesar de possuir uma população modesta de aproximadamente 4 mil habitantes, surpreende com um rebanho bovino robusto, ultrapassando as 40 mil cabeças de gado. Esse impressionante número reflete o forte vínculo da comunidade com a atividade pecuária e evidencia o potencial econômico do município nesse setor (IBGE, 2024).

Gráfico 11 - Fermentação Entérica de 1970 a 2022 (Araxá)



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A equação da linha de tendência é ( $y=118,52x+30678$ ), indicando um crescimento anual médio de 118,52 toneladas de metano. Embora a tendência de crescimento ao longo do tempo seja moderada, a baixa correlação ( $R^2=0,3154$ ) reforça que as emissões são impactadas por múltiplos fatores, como a introdução de práticas sustentáveis e mudanças na estrutura econômica.

O período inicial apresenta um aumento significativo nas emissões, alcançando um pico em torno de 40.000 toneladas no final da década de 1970. Esse crescimento é atribuído à

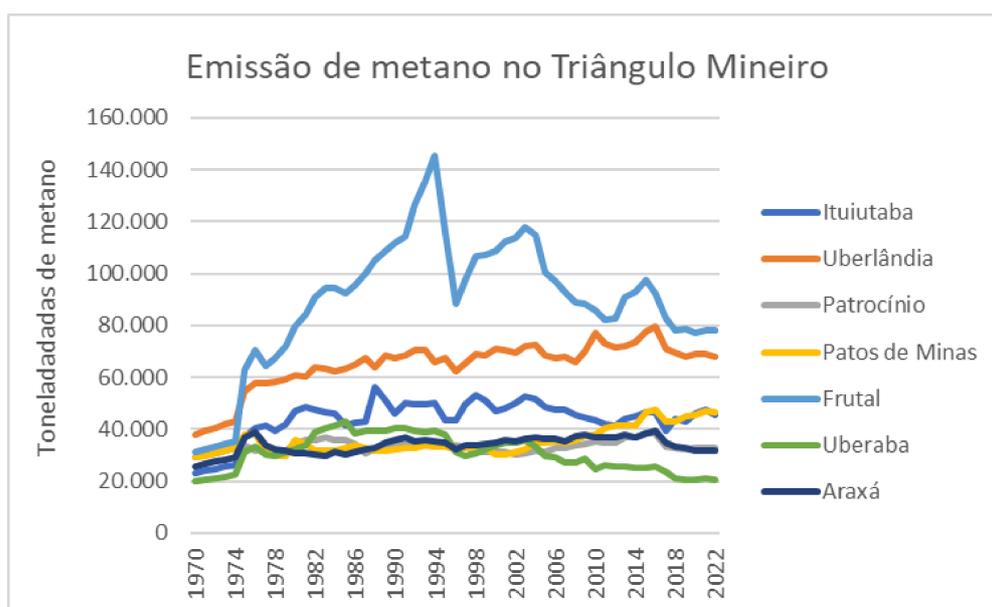
intensificação das atividades pecuárias na microrregião. Após o pico inicial, as emissões estabilizam-se em torno de 35.000 a 40.000 toneladas. Este período reflete uma consolidação do setor pecuário, com menor variação no número de animais e na produtividade. A partir de 2015, observa-se uma redução nas emissões, que caem para níveis abaixo de 35.000 toneladas em 2021. Essa diminuição está relacionada à adoção de mudanças econômicas e práticas mais sustentáveis de manejo.

## 8.8 PANORAMA GERAL

Os gráficos analisados apresentam as tendências de emissões de metano nas microrregiões de Ituiutaba, Uberlândia, Patrocínio, Patos de Minas, Frutal, Araxá e Uberaba, evidenciando as dinâmicas da atividade pecuária na região do Triângulo Mineiro ao longo de cinco décadas. Essas regiões refletem comportamentos distintos em relação à emissão de gases, influenciados por características econômicas, produtivas e ambientais.

Como resultado, o cálculo identificou uma estimativa significativa de aproximadamente 17 milhões de toneladas de metano (Gráfico 12) ao longo dos anos estudados, emergindo como um ponto focal crucial na análise. Essas emissões, intimamente associadas à atividade pecuária na região do Triângulo Mineiro, revelam um aspecto significativo dos impactos ambientais gerados pela produção bovina.

Gráfico 12 - Emissão de metano de 1970 a 2022 no Triângulo Mineiro por Microrregião



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Uberlândia destaca-se como a microrregião com o maior volume absoluto de

emissões, atingindo picos de mais de 80.000 toneladas. O crescimento contínuo ao longo das décadas é confirmado pela forte correlação linear ( $R^2=0,6151$ ), indicando uma expansão sólida e consistente do setor pecuário. Frutal também apresenta altos níveis de emissão, com um pico marcante na década de 1990 (cerca de 150.000 toneladas), seguido por uma redução significativa e estabilização em torno de 90.000 toneladas. Este comportamento único a diferencia das demais, refletindo ciclos econômicos estruturais mais intensos. Patos de Minas mostra crescimento constante, com emissões que partem de 25.000 toneladas em 1970 e alcançam quase 50.000 toneladas em 2021. Seu coeficiente ( $R^2=0,5755$ ) reforça uma tendência regular e sustentada. Uberaba apresenta comportamento semelhante ao de Uberlândia em termos de volume, com emissões que variam entre 70.000 e 100.000 toneladas ao longo das décadas. A correlação linear ( $R^2$ ) de Uberaba reflete um crescimento significativo, indicando que a pecuária na região é um dos principais motores da emissão de metano.

Patrocínio caracteriza-se por emissões estáveis ao longo das décadas, variando pouco em torno de 35.000 toneladas. Sua tendência linear ( $R^2=0,0557$ ) sugere que o tempo não é o principal fator determinante das emissões, destacando a estabilidade no manejo pecuário.

Araxá, embora semelhante a Patrocínio em termos de volume (cerca de 30.000 a 40.000 toneladas), exhibe maior oscilação inicial, com um pico na década de 1970, estabilização posterior e leve queda recente.

Ituiutaba, com emissões mais moderadas (entre 30.000 e 50.000 toneladas), apresenta crescimento leve ao longo do período, embora o baixo  $R^2=0,2177$  indique maior influência de variações externas.

Frutal, Araxá e Ituiutaba apresentam quedas ou estabilizações mais marcantes nas emissões após 2010. Esse comportamento pode estar relacionado a mudanças econômicas. Por outro lado, Uberlândia, Patos de Minas e Uberaba mantêm crescimento contínuo até 2022, indicando que essas microrregiões continuam expandindo suas atividades pecuárias, mesmo em um contexto de maior pressão por sustentabilidade.

O crescimento notável no gráfico 12 a partir da década de 70 em todas as microrregiões pode ser atribuído em grande parte às políticas de incentivo implementadas na época, com destaque para o papel crucial do Crédito Rural (REGO, 1981). Essas políticas forneceram aos agricultores acesso a recursos financeiros necessários para expandir suas operações, investir em tecnologia e aumentar a produtividade.

No início do século XXI, acontece um cenário semelhante, com o auxílio contínuo do crédito rural impulsionando ainda mais o desenvolvimento do setor agropecuário. Essa

injeção de recursos financeiros contribuiu para o crescimento sustentado da produção agrícola e pecuária, permitindo que os produtores expandissem suas atividades e modernizassem suas práticas (BUAINAIN, 2014).

Em 2016, de acordo com Costa (2018) houve um avanço significativo dentro da cadeia de produção bovina, resultando em um aumento notável no número de cabeças de gado. Esse aumento pode ser atribuído a uma variedade de fatores, incluindo melhorias na genética do gado, adoção de técnicas de manejo mais eficientes e investimentos em infraestrutura. É interessante notar que, após esse pico em 2016, houve uma estabilização ou até mesmo uma ligeira queda na produção de gado até 2022, quando os números voltaram a alcançar os níveis observados naquele ano. Esse padrão sugere que o setor passou por um período de ajuste e consolidação após o crescimento rápido de 2016.

Nos últimos anos, observou-se uma notável diminuição nas emissões provenientes da pecuária bovina na região do Triângulo Mineiro (Gráfico 12). Este declínio pode ser atribuído em grande parte à transição do uso da terra, com a substituição do pasto pelo cultivo agrícola. Esta mudança representa não apenas uma transformação na paisagem, mas também implicações profundas para a economia e o meio ambiente da região (TEIXEIRA, 2021).

O Triângulo Mineiro tem emergido como uma das áreas mais dinâmicas e promissoras de Minas Gerais, atraindo significativos investimentos e gerando empregos de forma contundente. Esta ascensão é impulsionada por uma combinação única de fatores favoráveis ao desenvolvimento agrícola (BITTENCOURT, 2014).

A fertilidade do solo, aliada às condições climáticas favoráveis, proporciona um ambiente ideal para a produção agrícola. Outro ponto crucial é a localização estratégica do Triângulo Mineiro, que facilita o escoamento rápido e eficiente da produção. Com acesso a importantes rodovias e infraestrutura logística bem desenvolvida, os produtores da região podem alcançar facilmente os principais centros de consumo e exportação (OSORIO, 2019).

Além disso, segundo Santos (2019) a disponibilidade de uma abundante força de trabalho local tem sido fundamental para o crescimento do setor agrícola na região. A mão de obra qualificada e dedicada contribui para aumentar a eficiência e a produtividade das atividades agrícolas, fortalecendo ainda mais a competitividade do Triângulo Mineiro no mercado nacional e internacional.

Além dos fatores mencionados anteriormente, outro aspecto fundamental que impulsiona a transição do pasto para o cultivo agrícola no Triângulo Mineiro é a questão dos custos de produção. Os custos associados ao estabelecimento e manutenção de plantações tendem a ser significativamente menores do que os necessários para criar e manter um

rebanho bovino (PICCININ, 2019). Os custos envolvidos na criação de gado incluem despesas com alimentação, cuidados veterinários, instalações adequadas, como cercas e estábulos, além dos custos associados ao manejo e transporte dos animais (INÁCIO, 2018; SANTOS, 2009) . Por outro lado, no cultivo agrícola, os principais custos estão relacionados à preparação do solo, compra de sementes e insumos agrícolas, irrigação e colheita (PICCININ, 2019). Comparativamente, o investimento inicial e os custos de manutenção de uma plantação tendem a ser mais previsíveis e controláveis, especialmente com avanços tecnológicos que permitem o uso mais eficiente de recursos, como água e fertilizantes. Além disso, o retorno financeiro sobre o investimento em culturas agrícolas pode ser mais rápido e consistente, contribuindo para a atratividade econômica dessa atividade em comparação com a pecuária (KLUTHCOUSKI, 2004; MECCA. 2022).

Mesmo assim, embora se observe uma tendência de transição cultural, o Triângulo Mineiro continua se destacando como um dos principais polos de produção bovina no Brasil. Sua relevância econômica é sustentada por práticas produtivas intensivas, que impulsionam a economia local e nacional. No entanto, o setor enfrenta desafios significativos, como a necessidade de adotar métodos mais sustentáveis para mitigar os impactos ambientais, incluindo as emissões de gases de efeito estufa provenientes da fermentação entérica do gado. Assim, o futuro da região depende de um equilíbrio entre a modernização da produção, a preservação ambiental e o fortalecimento de sua posição como referência no setor agropecuário.

Os dados apresentados nesta pesquisa fornecem uma base para iniciativas futuras de gestão ambiental, destacando áreas específicas que podem se beneficiar de estratégias direcionadas de redução de emissões. Portanto, essa análise não apenas evidencia a importância de compreender as emissões de metano associadas à atividade pecuária, mas também serve como um chamado à ação para a implementação de medidas que promovam uma produção bovina mais sustentável e alinhada com os princípios da conservação ambiental. Nesse contexto, a pesquisa desempenha um papel crucial ao orientar decisões informadas e propositivas para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais ecologicamente equilibradas na região do Triângulo Mineiro.

## 9 PROPOSTAS MITIGADORAS

Este capítulo delinea estratégias de mitigação e adaptação em nível municipal, com o objetivo primordial de impulsionar o desenvolvimento sustentável e simultaneamente reduzir as emissões. A proposta é instrumentalizar e envolver atores-chave, capacitando-os a enfrentar o desafio das mudanças climáticas.

O foco reside na implementação de medidas concretas que não apenas minimizem os impactos ambientais, mas também promovam o progresso econômico e social. Ao integrar ações de mitigação, que visam reduzir as emissões prejudiciais, e adaptação, que visa fortalecer a resiliência às mudanças climáticas, busca-se estabelecer uma abordagem abrangente e holística.

Essa iniciativa engaja ativamente os diversos participantes do cenário municipal, desde autoridades locais até setores produtivos e comunidade em geral. O compromisso desses atores-chave é crucial para a eficácia das medidas propostas, que incluem desde práticas sustentáveis de uso da terra até a promoção de fontes de energia renovável.

O intuito é criar uma sinergia entre as ações municipais, alinhando-as aos princípios do desenvolvimento sustentável e contribuindo, assim, para a construção de comunidades resilientes e ambientalmente responsáveis. Este capítulo não só estabelece um plano de ação concreto, mas também fomenta uma cultura de conscientização e responsabilidade ambiental, essencial para enfrentar os desafios climáticos em âmbito municipal.

### 9.1 VEGANISMO

Para Orlandini (2020) a alimentação desempenha um papel cultural e está intrinsecamente ligada ao consumo. O consumo, historicamente vinculado à satisfação de necessidades vitais, agora serve como um instrumento para compartilhar, reproduzir e representar culturas, influenciando hábitos de compra (ZAFANELI, 2016). Contudo, o consumo, inicialmente voltado para necessidades vitais, hoje muitas vezes é impulsionado por interesses comerciais (GUERRA e CARDOSO, 2017).

Os impactos ambientais da atividade humana estão diretamente relacionados aos hábitos de consumo, colocando pressão considerável sobre nosso planeta para atender à crescente demanda. De Biasi et al. (2007) destacam que as dietas baseadas no veganismo/vegetarianismo refletem a ideia do consumo consciente e minimalista, elementos muitas vezes negligenciados em estilos de vida onívoros.

Na contemporaneidade, observamos uma crescente adoção do veganismo como uma alternativa amplamente empregada pela população para mitigar e combater os impactos ambientais (Pereira, 2019). Ao longo dos anos, essa escolha ganha cada vez mais aderência, especialmente à luz das preocupações ambientais em ascensão. De acordo com dados da Vegan Business (2022), um exemplo notável é a Europa, onde o consumo de carne declinou em impressionantes 66%, refletindo um movimento significativo na busca por práticas alimentares mais sustentáveis e na luta contra as mudanças climáticas.

No Brasil, segundo a Sociedade Vegetariana Brasileira (SVB, 2021), 46% dos brasileiros optam por não consumir carne pelo menos uma vez por semana, motivados por escolhas pessoais conscientes. Além disso, a pesquisa destacou que, quando informados sobre a opção vegana, 32% das pessoas escolhem essa alternativa ao fazer suas refeições.

Esses números refletem não apenas uma tendência alimentar, mas uma mudança de mentalidade em direção a escolhas mais sustentáveis, ecoando a crescente conscientização sobre os impactos ambientais associados à produção e consumo de carne. A ascensão do veganismo como uma prática alimentar consciente destaca-se como um importante indicador de uma mudança cultural em curso, impulsionada por preocupações ambientais e um desejo crescente por estilos de vida mais ecológicos.

Essa conscientização de acordo com Orladini (2020) é um fator crucial para mudanças mais significativas. Sendo os órgãos governamentais um importante instrumento dentro deste processo. Instrumentos este que podem ser promovidos através da educação ambiental. O Ministério do Meio Ambiente ressalta a relevância da educação ambiental como um processo em constante evolução, visando conscientizar tanto comunidades quanto indivíduos sobre o entorno em que vivem. Este esforço busca instigar a promoção de valores, disseminação de conhecimentos e o fortalecimento de determinações que inspirem ação, tanto de forma coletiva quanto individual, visando à minimização de problemas ambientais. O domínio do conhecimento desempenha um papel fundamental na consolidação de práticas educativas que possam nutrir uma nova perspectiva e consciência em relação à natureza.

## 9.2 POLÍTICA PÚBLICAS

No cenário contemporâneo, as políticas públicas emergem como instrumentos poderosos na busca por soluções eficazes para a redução de emissões e a mitigação dos impactos ambientais associados à produção de carne e leite.

Alguns países como a Alemanha e Suécia já vem debatendo sobre a tributação da carne. Esta estratégia visa desestimular o consumo de proteína animal, considerando que a elevação dos preços poderia influenciar os consumidores a reconsiderar suas escolhas alimentares. A discussão em torno desta proposta oferece uma perspectiva instigante sobre como políticas fiscais podem moldar comportamentos e contribuir para a redução das emissões associadas à produção de carne (SELLARE, 2023).

Outra proposta que vem sendo discutida é a proibição da publicidade de carne, um marco significativo no desencorajamento do consumo de proteína animal. Ao eliminar a influência da publicidade, o país busca criar uma mudança cultural, incentivando escolhas alimentares mais conscientes e sustentáveis. Essa medida não apenas atua como uma barreira à promoção do consumo excessivo de carne, mas também como um impulso para a conscientização sobre os impactos ambientais associados (PACHECO, 2021).

### 9.3 ZONEAMENTO AGROPECUÁRIO E AGROCLIMÁTICO

O ordenamento territorial desempenha um papel crucial na mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) provenientes da atividade pecuária. Para alcançar esse objetivo, é imperativo que as localidades empreguem diversos instrumentos de planejamento, visando uma diferenciação precisa das áreas mais propícias às práticas agropecuárias. Essa abordagem busca evitar a sobrecarga em regiões destinadas à preservação ambiental.

Ao empregar mecanismos de zoneamento, os municípios não apenas asseguram a coexistência harmônica entre a produção agropecuária e a preservação ambiental, mas também orientam os produtores locais a utilizar áreas de maior potencial produtivo, rentabilidade e redução de emissões.

Nesse contexto, políticas orientadoras desempenham um papel crucial, como evidenciado pela abordagem proposta pelo SEEG (2023). Uma dessas políticas, o "Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC)", destaca-se como uma ferramenta valiosa no estudo agrometeorológico. Ao avaliar as condições climáticas, busca-se orientar as práticas agropecuárias de maneira a mitigar riscos e promover a sustentabilidade. Outro instrumento relevante é o "Zoneamento Agroecológico (ZAE)", uma iniciativa da Embrapa que utiliza dados sobre solo, vegetação, clima e geomorfologia para identificar áreas propícias a diferentes culturas agrícolas. Essa abordagem visa não apenas otimizar a produção, mas também garantir uma gestão territorial equilibrada. O "Zoneamento Ambiental/Zoneamento

Ecológico-Econômico (ZEE)" surge como um marco regulatório, estabelecido pela Política Nacional do Meio Ambiente. Regulamentado por decretos específicos, esse instrumento torna-se essencial no planejamento, subsidiando políticas públicas de regulação do uso do solo, tanto em ambientes urbanos quanto rurais, em âmbitos federal, estadual e municipal. Dessa forma, esses instrumentos coletivamente contribuem para uma abordagem integrada e sustentável no desenvolvimento territorial, promovendo a coexistência harmônica entre as atividades agrícolas e a preservação ambiental.

Como exemplo desta aplicação, o ano de 2018 testemunhou iniciativas inovadoras em diversos municípios brasileiros, destacando-se Imperatriz (MA), Nova Friburgo (RJ), Palmas (TO), Londrina (PR) e Maceió (AL). Estes se tornaram municípios pilotos na implementação da metodologia de Zoneamento Ambiental Municipal, desenvolvida pelo Ministério do Meio Ambiente (SEEG, 2023).

No caso dessas localidades, a aplicação da metodologia de Zoneamento Ambiental Municipal representou um compromisso tangível com a promoção da sustentabilidade e gestão responsável do território. Os resultados dessas implementações ofereceram insights valiosos sobre como equilibrar o desenvolvimento urbano e rural em conformidade com as diretrizes ambientais.

Outro conjunto de municípios, Cruzeiro do Sul, Marechal Thaumaturgo e Assis Brasil, localizados no Acre, abraçaram uma abordagem colaborativa. Estabeleceram parcerias sólidas entre a Embrapa, as prefeituras e a Associação de Municípios do Acre (AMAC), visando fortalecer a agricultura e aprimorar a gestão do uso da terra (SEEG, 2023).

Essas parcerias não apenas refletem um esforço conjunto para impulsionar a produtividade agrícola, mas também evidenciam a importância da colaboração entre instituições governamentais e setor privado na promoção de práticas sustentáveis.

Os resultados positivos dessas iniciativas ressaltam a viabilidade e eficácia de estratégias que integram a expertise técnica, apoio institucional e participação ativa das comunidades locais, contribuindo para o desenvolvimento sustentável dessas regiões.

#### 9.4 FACILITAÇÃO DO ACESSO DE PRODUTORES RURAIS A LINHAS DE CRÉDITO PARA A ADOÇÃO DE PRÁTICAS AGROPECUÁRIAS MITIGADORAS

A busca por práticas eficazes de mitigação das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) enfrenta significativos obstáculos, e entre estes, destaca-se a escassez de acesso a

créditos rurais por parte dos produtores. Esta barreira financeira impõe desafios substanciais para a adoção generalizada de iniciativas sustentáveis no setor agropecuário. Para Rathmann (2017) a falta de acesso a créditos rurais representa uma lacuna crítica, pois limita a capacidade dos produtores em implementar tecnologias e práticas mais sustentáveis. A obtenção de financiamento é crucial para investir em equipamentos modernos, métodos agrícolas inovadores e tecnologias voltadas para a redução das emissões de GEE (FILHO, 2021).

Para Paes (2017) a superação desse desafio exige uma abordagem integrada, envolvendo instituições financeiras, órgãos governamentais e organizações não governamentais. Incentivar políticas que facilitem o acesso a créditos rurais, com condições favoráveis e linhas específicas para práticas sustentáveis, pode ser uma estratégia eficaz. Além disso, promover a conscientização sobre os benefícios a longo prazo dessas práticas ambientalmente responsáveis entre os produtores e as instituições financeiras é fundamental. O estabelecimento de parcerias entre setores público e privado também pode desempenhar um papel crucial na criação de soluções financeiras inovadoras, estimulando investimentos voltados para a mitigação das emissões de GEE no setor agropecuário.

Em diferentes municípios brasileiros, ações estratégicas têm sido implementadas para superar a barreira do acesso a créditos rurais, promovendo a regularização e fortalecimento da agricultura local. Estes exemplos destacam a importância de parcerias entre órgãos governamentais, instituições financeiras e organizações de assistência técnica. O Programa Vale Produtivo, em parceria com o Banco do Nordeste, desempenhou um papel crucial na renegociação de dívidas de 101 produtores rurais em Barreiras, BA. Esta iniciativa buscou regularizar a situação dos agricultores em relação ao Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), proporcionando-lhes condições favoráveis para a continuidade de suas atividades. O Instituto de Terras do Estado de São Paulo (Itesp) implementou ações de assistência técnica e extensão rural no assentamento Conquista, em Tremembé, SP. Focadas na captação de crédito rural, essas iniciativas visam fortalecer a agricultura em áreas de reforma agrária, proporcionando suporte técnico para facilitar o acesso a recursos financeiros. Em 2021, Tocantins investiu na capacitação de extensionistas rurais, focando na elaboração de propostas de financiamento rural pelo Pronaf e Pronamp. Essa iniciativa visa capacitar profissionais locais para melhor assessorar os agricultores na preparação de propostas de crédito, facilitando o acesso a recursos financeiros essenciais. Esses exemplos ilustram abordagens variadas para superar desafios financeiros, evidenciando a importância de programas específicos, parcerias estratégicas e capacitação para fortalecer o acesso a créditos

rurais em diferentes contextos municipais brasileiros (SEEG, 2023).

#### 9.4 VIABILIZAR E ARTICULAR MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIAS (TT) PARA ADOÇÃO DE PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS

A implementação efetiva de práticas agropecuárias conservacionistas demanda uma ponte sólida entre os especialistas que desenvolvem essas técnicas e os produtores agrícolas. A missão crucial de encurtar essa distância é desempenhada pela transferência de tecnologia, um processo vital para disseminar conhecimento e habilidades essenciais (NERY, 2020). Diversas estratégias têm sido adotadas para realizar essa transferência, entre as quais se destacam cursos de capacitação e a formação de produtores como agentes multiplicadores (CORDEIRO, 2015). Noce (2017) aborda que a promoção de cursos de capacitação surge como uma estratégia eficaz na transferência de tecnologia. Esses cursos oferecem oportunidades valiosas para que produtores agrícolas adquiram conhecimentos atualizados sobre práticas conservacionistas. Com especialistas conduzindo sessões teóricas e práticas, os agricultores podem assimilar e aplicar técnicas inovadoras em suas operações cotidianas.

Investir na formação de produtores como agentes multiplicadores representa uma abordagem descentralizada e sustentável. Produtores capacitados tornam-se elos cruciais na cadeia de disseminação de conhecimento, compartilhando práticas agropecuárias conservacionistas com outros membros da comunidade agrícola. Essa estratégia não apenas amplia o alcance da transferência de tecnologia, mas também promove a aplicação prática dessas técnicas em contextos locais específicos (NOCE, 2017).

No município de Paragominas, uma parceria inovadora entre o Sindicato de Produtores Rurais, as organizações da sociedade civil Imazon e TNC (*The Nature Conservancy*) resultou no Projeto Pecuária Verde. Lançado em 2011, o projeto teve como objetivo aprimorar o desempenho de cinco fazendas locais em quatro áreas-chave: rentabilidade, bem-estar animal, desempenho ambiental e capacitação dos trabalhadores (SEEG, 2023).

Consultorias da Universidade de São Paulo (USP) e da Universidade Estadual Paulista (Unesp) foram fundamentais na implementação de práticas de manejo, visando aumentar a produtividade e promover a adequação ambiental nas fazendas. Como resultado, as fazendas participantes apresentaram uma produtividade quatro vezes superior às fazendas típicas, além de maior lucratividade e satisfação entre os trabalhadores (SEEG, 2023).

No Acre, especificamente nos municípios de Cruzeiro do Sul, Marechal Thaumaturgo e Assis Brasil, parcerias entre a Embrapa, prefeituras e a Associação de Municípios do Acre (AMAC) foram estabelecidas em 2018. O foco dessas colaborações foi fortalecer a agricultura e a gestão do uso da terra na região. O projeto incluiu atividades como capacitações em culturas estratégicas para a economia local, formação de multiplicadores de técnicas de manejo conservacionista do solo (como plantio direto e rotação de culturas), implantação de unidades demonstrativas em propriedades rurais e zoneamento agrícola. Essas ações visaram não apenas aumentar a produtividade, mas também promover práticas agrícolas sustentáveis (SEEG, 2023).

Na parceria entre a Embrapa e o governo do Pará, a ênfase recaiu sobre a transferência de tecnologia para promover práticas sustentáveis nos municípios de São Felix do Xingu, Tucumã, Canaã dos Carajás e Parauapebas. A formação de agentes multiplicadores, composta por técnicos de extensão rural, focou em diversas áreas, incluindo manejo e conservação dos solos, recuperação de pastagens, pecuária sustentável, Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Sistemas Agroflorestais (SAF) e restauração florestal. Essa iniciativa teve como objetivo capacitar os profissionais locais para implementar práticas agrícolas e pecuárias sustentáveis, contribuindo assim para a preservação ambiental e o desenvolvimento econômico dessas comunidades. Estes três projetos destacam o potencial de parcerias entre diferentes setores da sociedade na busca por soluções sustentáveis na pecuária e agricultura, contribuindo para o equilíbrio entre desenvolvimento econômico e conservação ambiental na Amazônia (SEEG, 2023).

#### 9.5 RAÇÃO NUTRICIONAL E ESTRATÉGIAS DE ALIMENTAÇÃO DE PRECISÃO E TECNOLOGIA DE LIBERAÇÃO CONTROLADA

Estratégias inovadoras, como a formulação de rações nutricionais sustentáveis, têm surgido como uma abordagem promissora para reduzir a emissão de metano na pecuária. De acordo com Araújo (2018) a adição de certos compostos, como óleos essenciais, taninos, algas marinhas e outros ingredientes, pode reduzir a produção de metano durante o processo digestivo dos animais.

Esses aditivos atuam de diversas maneiras, desde a modificação da composição microbiana no trato digestivo até a melhoria da eficiência da digestão, resultando em uma menor produção de metano por unidade de alimento consumido (GASTALDI, 2003). Para

Silva (2007) além dos aditivos, a implementação de estratégias avançadas de alimentação de precisão tem se destacado na redução das emissões de metano. Tecnologias que proporcionam a liberação controlada de nutrientes ao longo do trato digestivo dos animais permitem uma melhor utilização dos nutrientes e reduzem a fermentação que leva à produção de metano.

Essa abordagem não apenas contribui para a mitigação das emissões, mas também melhora a eficiência alimentar, resultando em ganhos econômicos para os produtores (SILVA, 2007). Apesar dos avanços promissores, a implementação generalizada de rações nutricionais sustentáveis enfrenta desafios, incluindo aspectos econômicos, disponibilidade de ingredientes e aceitação pelos produtores. Além disso, questões éticas relacionadas ao bem-estar animal e à segurança alimentar também são considerações importantes que devem ser abordadas na busca por soluções sustentáveis (CARNEIRO,2014).

O desenvolvimento contínuo de pesquisas e a colaboração entre a indústria, academia e setores governamentais são essenciais para aprimorar as estratégias de redução de emissões de metano na pecuária. Recomenda-se o incentivo a práticas agrícolas sustentáveis, políticas de apoio e a conscientização sobre a importância da adoção de rações nutricionais inovadoras como parte integrante de uma abordagem holística para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa na pecuária.

## 10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca por um equilíbrio sustentável entre economia e meio ambiente revela-se um desafio fascinante, levando-nos a refletir sobre a complexidade dessa interação. Este cenário desafia-nos a refletir sobre até que ponto as ações em prol do meio ambiente podem coexistir ou, por vezes, competir com as demandas econômicas.

Em uma era em que a conscientização ambiental é crescente e a necessidade de desenvolvimento econômico é incontestável, torna-se crucial buscar soluções que conciliem o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental. Nesse contexto, a sustentabilidade emerge como um princípio orientador, buscando atender às necessidades presentes sem comprometer as capacidades das gerações futuras. A discussão se estende desde os desafios de conciliar políticas ambientais rigorosas com as pressões econômicas até os casos em que investimentos ambientalmente responsáveis não apenas preservam o ecossistema, mas também geram oportunidades econômicas sustentáveis. A análise proposta busca responder à intrigante pergunta: em determinadas circunstâncias, será que o meio ambiente pode prevalecer sobre as demandas econômicas, ou vice-versa? A inter-relação entre esses dois elementos vitais é apresentada como um delicado equilíbrio, no qual medidas cuidadosamente planejadas podem criar sinergias benéficas, enquanto escolhas inadequadas podem desencadear conflitos prejudiciais.

Dentro desta perspectiva nos deparamos com a pecuária que no contexto brasileiro desempenha um papel significativo na economia, sendo uma importante fonte de receita e contribuindo expressivamente para o Produto Interno Bruto (PIB) do país. Essa relevância econômica coloca a pecuária como um setor crucial, destacando a necessidade de abordagens sustentáveis e práticas inovadoras para conciliar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental, considerando os desafios associados à expansão desse setor e a busca por equilíbrio entre crescimento econômico e conservação ambiental. O crescimento econômico é essencial para melhorar a qualidade de vida, reduzir a pobreza e proporcionar oportunidades para as comunidades. No entanto, é imperativo que esse desenvolvimento ocorra de maneira sustentável, levando em consideração não apenas os ganhos imediatos, mas também os impactos a longo prazo no ambiente.

Diante da evidência do aumento das emissões de metano e sua possível correlação com o aquecimento global, torna-se claro que a questão das emissões de gases de efeito estufa provenientes da agropecuária merece atenção especial. Embora o metano seja apenas um dos elementos que contribuem para esse fenômeno, sua importância não pode ser subestimada. O

aumento previsto na demanda por alimentos até 2050, conforme estimado pela FAO, impõe um desafio significativo à comunidade global: como alimentar uma população em crescimento sem comprometer ainda mais o meio ambiente e a qualidade de vida das gerações futuras?

Nesse contexto, a pesquisa sobre as emissões de metano pelo gado se revela como um importante ponto de partida. Além de fornecer esclarecimentos sobre esse específico impacto ambiental, ela também pode servir como um piloto para compreender e abordar outros aspectos negativos da agropecuária, como o consumo hídrico, o desmatamento e a utilização excessiva de grãos na alimentação animal.

É fundamental que a cadeia agropecuária assuma a responsabilidade de buscar alternativas que resultem em ganhos de eficiência, ao mesmo tempo em que minimizem seus impactos sobre o meio ambiente. Isso pode incluir a adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis, investimentos em tecnologias mais eficientes e a promoção de sistemas de produção animal mais responsáveis.

Em última análise, é necessário um esforço conjunto de todos os envolvidos, incluindo produtores, governos, organizações internacionais e consumidores, para encontrar soluções que garantam a segurança alimentar global sem comprometer os recursos naturais do nosso planeta. A pesquisa sobre as emissões de metano pelo gado é apenas o começo - agora cabe a nós transformar esse conhecimento em ações concretas para um futuro mais sustentável para todos.

## REFERÊNCIAS

- SABER, A. N. AB'. **Contribuição à geomorfologia das áreas de Cerrado**. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, São Paulo, 1971.
- ADAS, Melhem. *Panorama Geográfico do Brasil*. São Paulo: **Moderna**, 1983.
- ADUAN, R. E.; VILELA, M. F.; KLINK, C. A. **Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do cerrado brasileiro**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 30 p. (Documentos, 105).
- ALCÂNTARA, E. et al. Deadly disasters in southeastern South America: flash floods and landslides of February 2022 in Petrópolis, Rio de Janeiro. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 23, p. 1157–1175, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-23-1157-2023>.
- ALEXANDER, L. V. et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, v. 111, D05109, 2006. DOI: 10.1029/2005JD00690.
- ALMEIDA, A. M.; DO VALLE JÚNIOR, R. F. **Diagnóstico da expansão agropecuária na bacia do rio Uberaba, Veríssimo–MG, utilizando-se do sistema de informação geográfica**. 2013.
- ALVALÁ, P. C.; KIRCHHOFF, V. W. J.; PAVÃO, H. G. **Metano na atmosfera: produções de metano em regiões de queimada e áreas alagadas**. Disponível em: <http://www.bioteecnologia.com.br/revista/bio07/metano.pdf>. Acesso em: 15 out. 2023.
- ALVES, J. E. D. Qual será a população mundial em 2100? *Revista do Departamento de Geografia da UFJF*, 2011. Disponível em: <https://www.ufjf.br/ladem/2011/07/06/qual-sera-a-populacao-mundial-em-2100-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/>. Acesso em: 1 out. 2022.
- ANDRADE, D. **Economia e meio ambiente: aspectos teóricos e metodológicos nas visões neoclássica e da economia ecológica**, 2008.
- ARAÚJO, R. H. **Panorama geral da aplicação de probióticos e prebióticos na melhoria do desempenho de animais de produção**. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) - Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- BACCARO, C. Unidades Geomorfológicas do Triângulo Mineiro. In: **Revista Sociedade & Natureza**. Uberlândia, 3 (5 e 6): 37-42, dezembro 1991.
- BARRY, R. & CHORLEY, R. **Atmosfera, tempo e clima**. PORTO ALEGRE: **Bookman**, 2013.
- BERCHIELLI, T. T., PIRES, A. V. & OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de Ruminantes**. Jaboticabal, Brazil: FUNEP (2011).
- BESSAT, F. A mudança climática entre ciência, desafios e decisões: olhar geográfico. **Terra**

**Livre**, [S. l.], v. 1, n. 20, p. 11–26, 2015. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/terralivre/article/view/186>. Acesso em: 1 fev. 2024.

BITTENCOURT, G. M.; LIMA, J. E. Perfil do desenvolvimento rural dos municípios da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. **Gestão & Regionalidade**, v. 30, n. 89, p. 1-19, maio-ago. 2014.

BORGES, M. A.; TEIXEIRA, M. E. S. .; CASTANHO, R. B. ANÁLISE DO PERFIL DA PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA MUNICIPAL DA MICRORREGIÃO GEOGRÁFICA DE FRUTAL, (MG) – 1980 A 2010. **Espaço em Revista**, Goiânia, v. 22, n. 1, p. 1–19, 2020. DOI: 10.5216/er.v22i1.61496. Disponível em: <https://periodicos.ufcat.edu.br/espaco/article/view/61496>. Acesso: 1 Mar. 2024.

BORTOLETTO, R. A. **Levantamento de Fitonematoides em Lavouras de Soja na Região do Mateiro, Distrito de Coromandel, Minas Gerais**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/40786>. Acesso: 1 abr. 2024.

BRAGA, A. et al. Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, 2001. Disponível em: <35099-Texto do artigo-41261-1-10-20120727 (3).pdf>. Acesso em: 25 out. 2022.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**. Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima. Volume III: Estratégias Setoriais e Temáticas. Portaria MMA nº 150 de 10 de maio de 2016. 297p. Brasília, 2016.

BROECKER, W. S. “Climatic change: are we on the brink of a pronounced global warming?”. **Science**, v. 189, p. 460–463, 1975.

BUAINAIN, A. M. et al. **O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 1182 p. ISBN 978-85-7035-336-8.

BUSTAMANTE, M. M. C. et al. Panorama das emissões de metano e implicações do uso de diferentes métricas. São Paulo: **FGV EESP**, 2022. Disponível em: [https://eesp.fgv.br/sites/eesp.fgv.br/files/ocbio\\_panorama\\_das\\_emissoes\\_de\\_metano\\_e\\_implicacoes\\_do\\_uso\\_de\\_diferentes\\_metricas\\_pt.pdf](https://eesp.fgv.br/sites/eesp.fgv.br/files/ocbio_panorama_das_emissoes_de_metano_e_implicacoes_do_uso_de_diferentes_metricas_pt.pdf). Acesso: 15 Mai. 2023.

CALMON P. P. N. A conferência de estocolmo como ponto de partida para a proteção internacional do meio ambiente. **Revista Direitos Fundamentais & Democracia**, [S. l.], v. 6, n. 6, 2009. Disponível em: <https://revistaeletronicardfd.unibrazil.com.br/index.php/rdfd/article/view/18>. Acesso em: 1 out. 2022.

CARNEIRO P. A. S. Do sertão ao território das minas e das gerais: Entradas e bandeiras, política territorial e formação espacial no período colonial .Tese de doutorado. **Geografia histórica**. Universidade Federal de Minas Gerais- UFMG, 2013.

CARNEIRO, H.; SILVA, M. R.; FARIA, L. S. **Redução da emissão de metano pelos ruminantes: o papel de aditivos, fatores nutricionais e alimentos**. In: Cadernos Técnicos de Veterinária e Zootecnia. (Escola de Veterinária da UFMG) Belo Horizonte: Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, FEP MVZ Editora, n.74, set. 2014.

CARVALHO, D. W.; BARBOSA, K. S. Litigância climática como estratégia jurisdicional ao aquecimento global antropogênico e mudanças climáticas. **Revista de Direito Internacional**, Brasília, DF, v. 16, n. 2, p. 5-23, 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/journal/Revista-de-Direito-Internacional-2237-1036>. Acesso em: 10 jun. 2023.

CARVALHO, G. R.; HOTT, M. C.; OLIVEIRA, A. F. Análise espacial da produção de leite no estado de Minas Gerais em base microrregional. In: **CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL**, 45., 2007, Londrina. Anais. Londrina: Sober, 2007. 11 p.

CARVALHO, J. F. **Combustíveis Fósseis e Insustentabilidade**. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 60, n. 3, p. set. 2008.

CASAGRANDE, A.; SILVA JÚNIOR, P.; MENDONÇA, F. de A. Mudanças climáticas e aquecimento global: controvérsias, incertezas e a divulgação científica. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 8, 2021. DOI: 10.5380/abclima.v8i0.25793. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/13593>. Acesso em: 1 out. 2022.

CASTRO BRUMANO VIÇOSO, L. A pecuária como agente de territorialização e as formas de fomento para sustentação da pecuária. **Cadernos do Leste**, [S. l.], v. 21, n. 21, 2021. DOI: 10.29327/248949.21.21-6. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/caderleste/article/view/35669>. Acesso em: 18 mar. 2023.

CASTRO, M. P. Áreas protegidas do cerrado: vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas. 2023. 60 f. **Dissertação (Mestrado em Meteorologia Aplicada)** - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2023.

CASTRO, R. O esforço do Brasil para reduzir a pegada de carbono da pecuária. **Revista Pesquisa FAPESP**, 12out.2022. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/o-esforco-do-brasil-para-reduzir-a-pegada-de-carbono-da-pecuaria/>. Acesso: 10 out. 2023.

CEMADEN. Monitoramento de secas e impactos no Brasil: Setembro/2020. **Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais**, 2020. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/monitoramento-de-secas-e-impactos-no-brasil-setembro2020/>. Acesso: 3 Mar. 2024.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA). PIB do Agronegócio Brasileiro. **Departamento de Economia, Administração e Sociologia**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo. Piracicaba, Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro>. Acesso: 15 Dez. 2023.

CICERONE, R. J. AND OREMLAND, R. S.: Biogeochemical aspects of atmospheric methane, **Global Biogeochem. Cy.**, 2, 299–327, <https://doi.org/10.1029/GB002i004p00299>, 1988.

CONTI, J. B. (2011). Considerações sobre as mudanças climáticas globais. **Revista do departamento de geografia**, 2011.

CORREA, F. et al. Produtividade de cultivares de soja em sequeiro no município de perdizes, MG. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, [S. l.], v. 14, n. 25, 2017.

CORDEIRO, L. A. M. et al. **Transferência de tecnologias para adoção da estratégia de integração lavoura-pecuária-floresta**. In: CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARCHÃO, R. L. (Ed.). *Integração lavoura-pecuária-floresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde*. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 377-393. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas)

COSTA, Isabela Nubiato et al. A Bovinocultura de Corte e Sua Importância Econômica Frente ao PIB do Agronegócio. **Corpo Editorial**, p. 7, 2018.

DE PAULA, K. G. et al. Emissão de metano na pecuária: relação causa-efeito e mecanismos modulatórios. **Pubvet**, v. 13, n. 01, 30 jan. 2019.

DELGADO, C., ROSEGRANT, M., STEINFELD, H., EHUI, S., & COURBOIS, C. (1999): *Livestock to 2020: The next food revolution. Food, agriculture, and the environment discussion*. Nairobi. **International livestock research institute**, 1999.

DUARTE, I.S. Impactos ambientais da produção de carne para consumo humano: a indústria da carne na contramão da tutela constitucional do meio ambiente. **Dissertação (mestrado em direito)** – Universidade Federal de Pernambuco. 117F., 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). VII Plano Diretor da Embrapa: 2020-2030. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. 31p, Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/vii-plano-diretor/a-agricultura-brasileira>. Acesso: 1 out. 2022.

ESSELIN, P. M. **A Pecuária bovina no processo de ocupação e desenvolvimento econômico do Pantanal sul-mato-grossense (1830-1910)**. Dourados, MS: Ed. Universidade Federal da Grande Dourados, 2011. 358 p.

ESTEVES B. Ciência, política e controvérsia: a atribuição da mudança climática. In: **Von Linsingen I, Corrêa RF (eds) Conhecer para Transformar III: Investigações sobre Ciência–Tecnologia–Sociedade na América Latina**. Florianópolis, Brazil: Núcleo de Publicações/CED/UFSC, pp. 11–34, 2013.

FACHIN, O. Fundamentos de metodologia. 3. ED. SÃO PAULO: **ATLAS**, 2001.

FAO. Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains – A global life cycle assessment, BY C. OPIO, P. GERBER, A. MOTTET, A. FALCUCCI, G. TEMPIO, M. MACLEOD, T. VELLINGA, B. HENDERSON & H. STEINFELD. ROME FLEMING, JAMES. Historical perspectives on climate change. New York: **Oxford University Press**, 1998.

OECD/FAO - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico “OECD-FAO Agricultural Outlook”, Meat Consumption, 2020. Disponível em: <https://data.oecd.org/agroutput/meat-consumption.htm>. Acesso em: 25 out. 2023

FERNANDES, V. et al. SECAS E OS IMPACTOS NA REGIÃO SUL DO BRASIL. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 28, p. 561–584, 2021. Disponível em:

<https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/14748>. Acesso: 10 Jul. 2023.

FERREIRA, M. O.; FRANCISCA S., J. EXPRESSÕES DO AGRONEGÓCIO NO TRIÂNGULO MINEIRO/ALTO PARANAÍBA: . **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, Seção Três Lagoas , v. 1, n. 31, p. 495-522, 1 jun. 2020.

FERREIRA, R. C. S. A mitigação das emissões de gases de efeito estufa no setor agropecuário brasileiro: limites e potencialidades. 2014. 140 f. **Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento)** – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/bitstream/handle/1884/39186/R%20-%20E%20-%20RENATA%20CRISTINE%20SENGER%20FERREIRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso: 1 Mai. 2022.

FIALA, N. Meeting the demand: an estimate of potential future greenhouse gas emission from meat production. **Ecological Economics** v67,p412-419, 2008.

FILHO, S. ; LINDOSO, D.; BURSZTYN, M.; NASCIMENTO, C.. O CLIMA EM TRANSE: POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO NO BRASIL. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. 1.], v. 19, 2021. DOI: 10.5380/abclima.v19i0.48874. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/13900>. Acesso: 10 abr. 2024.

FLEMING, James Rodger. Historical Perspectives on Climate Change. New York; Oxford: **Oxford University Press**, 1998. xiii, 194 p. ISBN 0-19-507870-5.

FNP. ANUALPEC’S 2021. Anuário da Pecuária Brasileira. São Paulo, 2021. Acesso em: < <http://anualpec.com.br/>> OBSERVATÓRIO ABC. Agricultura de Baixa Emissão de Carbono: A evolução de um novo paradigma. Relatório Completo. **Fundação Getúlio Vargas e Centro de Agronegócio da Escola de Economia de São Paulo**. 2013. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Séries Históricas e Estatísticas. Disponível em: <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/>

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Produto Interno Bruto (PIB) de Minas Gerais. **Fundação João Pinheiro**, 2024. Disponível em: <https://fjp.mg.gov.br/produto-interno-bruto-pib-de-minas-gerais/>. Acesso: 10 out. 2023.

FURTADO, Celso. Formação econômica do Brasil. 15 ed. São Paulo: **Editora Nacional**, 1977

G1. **2023 foi o ano mais quente já registrado, diz observatório europeu**. G1, 09 jan. 2024. Disponível em:

<https://g1.globo.com/meio-ambiente/noticia/2024/01/09/2023-foi-o-ano-mais-quente-ja-registrado-diz-observatorio-europeu.ghtml>. Acesso: 25 jan. 2022.

G1. **Após a maior cheia da história, nível do Rio Negro baixa e fica em 30 metros em Manaus**. G1, 25 jun. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2021/06/25/apos-a-maior-cheia-da-historia-nivel-d-o-rio-negro-baixa-e-fica-em-30-metros-em-manaus.ghtml>. Acesso: 30 jan. 2022.

G1. **Cidade holandesa é a primeira do mundo a proibir propaganda de carne**. G1, 07 set. 2022. Disponível em:

<https://g1.globo.com/mundo/noticia/2022/09/07/cidade-holandesa-e-a-primeira-do-mundo-a-p-roibir-propaganda-de-carne.ghtml>. Acesso em: 05 abril. 2024. Acesso: 25 jan. 2022.

GARCIA, J.; TREBEJO, I.; BIDEGAIN, M.; HAYLOCK, M.R.; KAROLY, D. Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960–2000. **Journal of Climate**, v.18, p.5011-5023, 2005.

GASTALDI, K. **Produção in vitro de metano, dióxido de carbono e oxigênio utilizando líquido ruminal de bovinos alimentados com diferentes rações**. 2003. x, 95 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2003.

GAUDIANO, E.; GONZÁLEZ, A.; SÁNCHEZ, G.; ORTIZ, S.; ANDRADE, L.. Novos desafios para a educação ambiental: vulnerabilidade e resiliência social em face dos estragos da mudança climática. Um projeto em municípios de alto risco no estado de Veracruz, México. **REMEA - Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, [S. l.], v. 32, n. 2, p. 143–158, 2015. DOI: 10.14295/remea.v32i2.5535. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/remea/article/view/5535>. Acesso em: 5 mar. 2024.

GEAS. Growing greenhouse gas emissions due to meat production. **United nations environmental programme**, (UNEP), 2012.

GENARO, F.; CHELOTTI, M.C. Transformações no agro do Cerrado Mineiro: análises a partir dos Censos Agropecuários de 1995/96 e 2006 da mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. **OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia**, v.5, n.14, p. 63-77, out. 2013.

GOMES, D.; JÚNIOR, L.; BORGES, M.. A urbanização e a predominância de ocupações agropecuárias no município de Santa Juliana–MG. In: **Anais do X Seminário sobre a Economia Mineira** [Proceedings of the 10th Seminar on the Economy of Minas Gerais]. Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.

GOODLAND, R. & ANHANG, J.. Livestock and climate change. What if the key actors in climate change are... cows, pigs, and chickens? . **World Watch**. 2009.

GUERRA, C. de S.; CARDOSO, F. B. da S. A influência da cultura do consumo na alimentação humana: a (in) sustentabilidade do consumo de proteína animal. **Anais do 4º Congresso Internacional de Direito e Contemporaneidade: mídias e direitos da sociedade em rede**. UFSM - Universidade Federal de Santa Maria, 8 a 10 de novembro de 2017.

GUIMARÃES, E. N. A transformação econômica do Sertão da Farinha Podre: o Triângulo Mineiro na divisão inter-regional do trabalho. Uberlândia: **História e Perspectiva**, 1991. V. 1.

HAYLOCK, M.R.et al . Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature. **Journal of Climate**, v.19, p.1490-1512, 2016.

HISTOV, A.N. et. al. Special topics: mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. **Journal of Animal Science**, v.91, p.5045-5069, 2013a. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6583>

HOLANDA, S. B.. **Monções**. SÃO PAULO: BRASILIENSE, 1990.

HOOGESTEIJN, A.; HOOGESTEIJN, R. CATTLE RANCHING AND BIODIVERSITY CONSERVATION AS ALLIES IN SOUTH AMERICA'S FLOODED SAVANNAS. **Great Plains Research**, Vol. 20 No. 1, 2010. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/188087754.pdf>. Acesso em: 15 de março de 2024.

IBGE. – Efetivo de bovinos nos estabelecimentos agropecuários com mais de 50 cabeças em 31/12, por composição do efetivo, condição do produtor em relação às terras, finalidade da criação, grupos de atividade econômica, grupos de área de pastagem e grupos de área total. **Censo Agropecuário 2017**. Sistema de Recuperação Automática (SIDRA). Brasília, 2017a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/925>. Acesso: 25 jan. 2024.

IBGE. **Censo Agropecuário 2006: Segunda Apuração. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2006.** Disponível em:

[https://ftp.ibge.gov.br/Censo\\_Agropecuario/Censo\\_Agropecuario\\_2006/Segunda\\_Apuracao/censoagro2006\\_2apuracao.pdf](https://ftp.ibge.gov.br/Censo_Agropecuario/Censo_Agropecuario_2006/Segunda_Apuracao/censoagro2006_2apuracao.pdf). Acesso: 25 jan. 2024.

IBGE. Pesquisa Mensal de Serviços - Brasil. **Sistema IBGE de Recuperação de dados (SIDRA)**, 2024. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil>. Acesso: 25 jan. 2024.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html>. Acesso: 25 jan. 2024.

IBGE. **Tabela 3939** - Efetivo de rebanho. Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), 2024. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>. Acesso: 25 jan. 2024.

IBGE. **Tabela 94** – Vacas ordenhadas. Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM). Sistema de Recuperação Automática (SIDRA). Brasília, 2021d. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/94>>. Acesso: 25 jan. 2024.

INÁCIO, J.; SANTOS, R. A expansão canavieira no município de Delta-MG: “ilhados pelos canaviais”. **Caminhos de Geografia**, v. 14, n. 48, p. 209-227, 2014.

INÁCIO, M. ;et al.. Sistema intensivo x extensivo na criação de gado de corte. **Revista XYZ**, v.16, n. 1, 2018.

INMET. Nota à imprensa sobre a formação da tempestade subtropical Raoni. Instituto Nacional de Meteorologia, 01 jul. 2021. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/nota-%C3%A0-imprensa-sobre-a-forma%C3%A7%C3%A3o-da-tempestade-subtropical-raoni>. Acesso: 15 fev. 2024.

INMET. Previsão de tempo e clima. Instituto Nacional de Meteorologia, 2023. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/progt>. Acesso: 15 fev. 2024.

IPCC. Climate change 2021: The physical science basis. contribution of working group i to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. MASSON-DELMOTTE, V., P. ZHAI, A. PIRANI, S.L. CONNORS, C. PÉAN, S.

- BERGER, N. CAUD, Y. CHEN, L. GOLDFARB, M.I. GOMIS, M. HUANG, K. LEITZELL, E. LONNOY, J.B.R. MATTHEWS, T.K. MAYCOCK, T. WATERFIELD, O. YELEKÇI, R. YU, AND B. ZHOU (EDS.). **Cambridge university press**. In press, 2021.
- JARDIM, W. F. A evolução da atmosfera terrestre. Edição especial. **Cadernos Temáticos de Química Nova**, São Paulo, n. 1, p. 5-8, maio de 2001.
- JOHNSON, K. A. & JOHNSON, D. E. Methane emissions from cattle. **Journal of Animal Science**, 73(8), 2483-2492, 1995.
- JUNGES, A.; DA SILVEIRA, F.; MASSONI, N. Validação de um opinário sobre aquecimento global. **Revista brasileira de ensino de ciências e matemática**, V. 4, N. 1, 1 MAR. 2021.
- JÚNIOR, A.; LIMA, V.; BRITES, P. Mudanças Climáticas: Um panorama sobre a pecuária de Juiz de Fora e sua emissão de metano (CH<sub>4</sub>). In: **SEMINÁRIO PPGeo UFJF - O Antropoceno e o Papel da Geografia nas "Grandes Acelerações"**, 9., 2022, Juiz de Fora. Anais... Juiz de Fora: UFJF, 2022.
- JUNIOR, N.; SANTOS JUNIOR, A.; OLIVEIRA, A. A percepção da imagem perante o público de Uberaba-MG: o caso da ABCZ - (Associação Brasileira de Criadores de Zebu). **Revista de Administração de Empresas**, Uberaba, v. 3, n. 1, 2018.
- KATAOKA, A.M.; FERNANDES, C.T.; NOGUEIRA, J.F.F.; MORAES, M.M. A complexa relação entre consumo de carne e a educação ambiental. **A educação ambiental sob o luar das araucárias**. Curitiba: Appris, 2019.
- LANDAU, E. C.; SILVA, G. A. DA; MOURA, L.; HIRSCH, A.; GUIMARAES, D. P. (ED.). Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas: Cenário histórico, divisão política, características demográficas, socioeconômicas e ambientais. **Embrapa**. Brasília, DF: v. 1, cap. 2, p. 31-57, 2020.
- KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H.; STONE, L. F.; COBUCCI, T. Integração lavoura-pecuária e o manejo de plantas daninhas. **Informações Agrônomicas**, n. 106, p. 1-20, jun. 2004.
- LIBBY, D.. **Transformação e trabalho em uma economia escravista**. Brasiliense. São Paulo, 1988.
- LIMA, M. A. Emissão de gases de efeito estufa provenientes de sistemas agrícolas no Brasil. **Biociência, Ciência e Desenvolvimento**, v. 3, n. 17, p. 38-43, 2000.
- LOURENÇO, L.A.B. **O Triângulo Mineiro, do império à república**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2010.
- LOURENÇO, L.A.B. Triângulo mineiro: Uma fronteira na colônia e no império. in: a oeste das minas: escravos, índios e homens livres numa fronteira oitocentista triângulo mineiro (1750-1861) [online]. Uberlândia: **edufu**, 2005, pp. 95-169. isbn 978-85-7078-516-9. <https://doi.org/10.7476/9788570785169.0005>. Acesso: 05 fev. 2023.
- MAGAÇO, F. dos S.; DUARTE, E. R. Interação microbiana e metanogênese em

ruminantes – uma revisão. **Medicina Veterinária**, [S. l.], v. 13, n. 1, p. 88–95, 2019. DOI: 10.26605/medvet-v13n1-2615. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/medicinaveterinaria/article/view/2615>. Acesso: 15 fev. 2024.

MARCOVITCH J.. Para mudar o futuro: Mudanças climáticas, políticas públicas e estratégias empresariais. Editora: EDUSP .1aED, 2006.

MARENGO, J.A. **Caracterização do clima no século XX e cenários no Brasil e na América do Sul para o século XXI derivados dos Modelos de Clima do IPCC**. Relatório nº 1. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a diversidade. MMA. CPTEC/INPE, São Paulo: 2007.

MARENGO, José A.; SOUZA JUNIOR, C. **Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia**. São Paulo: ALANA, 2018.

MARQUES, D. A., & COSTA, C. . Perfil tecnológico de fazendas leiteiras assistidas por uma empresa de consultoria veterinária na região de Monte Carmelo-MG. **Revista GeTeC**, 6(13), 2017.

MCTI (Brasil). **QUARTO INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA**: relatório síntese dos relatórios de referência subsetoriais setor agropecuária versão de. Brasília, 2020a. 9 p. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-s-etorial>. Acesso em: 11 mar. 2023.

MECCA, M. “CUSTOS DE PRODUÇÃO PECUÁRIA: ANÁLISE DA LUCRATIVIDADE NA CRIAÇÃO DE GADO ~ EXTENSIVO E EM CONFINAMENTO DE UMA EMPRESA PRODUTORA RURAL”. In: **Revista Valore** 7, p. 7039, 2022.

MEDEIROS N.. Desafio à Pecuária Brasileira. Porto Alegre: Editora Sulina, 1970.

MELO, G.; PAIVA, R. **Crescimento Vegetativo de Cafeeiros Coffea Arabica Adubados Com Fontes de Fertilizantes Nitrogenados de Liberação Lenta e Controlada Em Tiros-MG**. In Proceedings of the SBICafé, Pocos de Caldas, Brazil, 24 September 2017.

MELO, R. F. de. Análise do desenvolvimentos rural na região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba: Caracterização dos municípios com base em indicadores populacionais, econômicos, ambientais e de bem-estar social. 2005. 138 f. **Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia 2005**. Disponível em: <[http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/2465/1/An%C3%A1liseDesenvolvimentoRural1\\_parte%201.pdf](http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/2465/1/An%C3%A1liseDesenvolvimentoRural1_parte%201.pdf)>. Acesso em: 01 mar. 2023.

MILLER, T. L. **Ecology of methane production and hydrogen sink in the rumen**. In W. V. Engelhardt, S. Leonhard-Marek, G. Breves & D. Giessecke (Eds.), Ruminant physiology: Digestion, metabolism, growth and reproduction (pp. 317-332). Stuttgart, Alemanha: Ferdinand Enke Verlag, 1995.

MENDES, J. S. R.; SPÉCIE, P. **MIGRAÇÕES CLIMÁTICAS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA: A EMERGÊNCIA EM CURSO E OS DESAFIOS DAS**

ORGANIZAÇÕES INTERNACIONAIS NA REGIÃO. **Cadernos do CEAS: Revista crítica de humanidades**, [S. l.], v. 49, n. 261, p. 109–131, 2024. DOI: 10.25247/2447-861X.2024.n261.p109-131. Disponível em: <https://portaldeperiodicos.ucsal.br/index.php/cadernosdoceas/article/view/1270>.

MIRANDA, I.C. **O Acordo de Paris e a cooperação transacional para o enfrentamento das mudanças climáticas**. Dissertação (Mestrado em Direito) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Jurídicas, Programa de Pós-Graduação em Direito, Florianópolis, 2018. 160p.

MOTA, J. S. Aquecimento Global por um Ótica Assertiva In: Revista Digital Simonsen, Nº 9, Dezembro. 2018. Disponível em: [www.simonsen.br/revistasimonsen](http://www.simonsen.br/revistasimonsen) ISSN:2446-5941

MORICE, C.P., KENNEDY, J.J., RAYNER, N.A., WINN, J.P., HOGAN, E., KILLICK, R.E., DUNN, R.J.H., OSBORN, T.J., JONES, P.D., AND SIMPSON, I.R. An updated assessment of near-surface temperature change from 1850: the HadCRUT5 dataset. **Journal of Geophysical Research** **126**, e2019JD032361, doi:10.1029/2019JD032361, 2021.

MOSS, A.R. **Methane: global warming and production by animals**. Kingston: Chalcombe Publications, 1993. 105p.

NASA. Giss surface temperature analysis (gistemp), version 4. **Nasa goddard institute for space studies**, 2020.

NERY, L. **Proposta metodológica para a transferência da tecnologia ILPF em pastagens: transferência do conhecimento e informação técnica para produtores rurais**. 2021. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia e Monitoramento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia e Monitoramento Ambiental, Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), 2021.

NOBRE, C.; REID, J.; VEIGA, A. **Fundamentos científicos das mudanças climáticas**. São José dos Campos, SP: Rede Clima/INPE, 2012.

NOCE, M. **Análise do processo de transferência de tecnologias no sistema de integração lavoura-pecuária- floresta, para agricultores familiares na região central de Minas Gerais**. 2017. 184 f. Tese (Doutorado em Extensão Rural) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2017.

OBERTHÜR S. **The Kyoto Protocol**. International Climate Policy for the 21st Century. Berlin: Springer, 1999.

OBREGÓN, G.; MARENGO, J.A. **Caracterização do clima no Século XX no Brasil: Tendências de chuvas e Temperaturas Médias Extremas**. Relatório nº 2. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Diretoria de Conservação da Biodiversidade. 2007.

**OBSERVATÓRIO DO CLIMA (OC)**. IPCC AR6, WG1: Resumo Comentado. 2021.

OLIVEIRA, B. S. de. **Ituiutaba (MG) na rede urbana tijuana: (re) configurações sócio/espaciais no período de 1950 a 2000.** 2003. 205 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

Oliveira, E. A., dos Reis, R. J. **ANÁLISE EXPLORATÓRIA DAS ALTERAÇÕES COMPORTAMENTAIS DA UMIDADE RELATIVA NO TRIÂNGULO MINEIRO,** 2023.

OLIVEIRA, J. C. C. et al. **Uso e ocupação do solo do município de Campina Verde – MG.** In: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 2430 – 2433. INPE, 2019.

OLIVEIRA, L. **O conceito geográfico de espaço.** Boletim de geografia teórica: Rio Claro: Ageteo, n. 4, 1972. p. 01-21.

OLIVEIRA, L. P., & RIBEIRO, M. B. P. **AS RELAÇÕES CAMPO-CIDADE E O PAPEL DA AGROINDÚSTRIA E DO AGRONEGÓCIO NOS MUNICÍPIOS DA MICRORREGIÃO DE FRUTAL (MG): UMA ANÁLISE PRELIMINAR,** 2016.

OLIVEIRA, L.; SILVA, R. ; PETRUCCI, E. **Secas pluviométricas no estado de Minas Gerais, de 1980 a 2017.** RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise. 54. 129. 10.5380/raega.v54i0.76135, 2022.

OLIVEIRA, V. da S.; NETO, J. A. S.; VALENÇA, R. de L.; DOS SANTOS, A. C. P. **ESTRATÉGIAS PARA MITIGAR A PRODUÇÃO DE METANO ENTÉRICO.** Veterinária Notícias, Uberlândia, Brazil, v. 23, n. 1, 2017. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/vetnot/article/view/32380>. Acesso em: 5 Jul. 2024

OLIVEIRA, Rafaela Cristina de. **SPERS: sistema de previsão de recessão em estiagem para o Rio Grande do Sul.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Hídrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, 2024. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/275035>. Acesso em: 07 nov. 2024.

ORLANDINI, I. **Redução de impactos ambientais gerados pela bovinocultura de leite: revisão bibliográfica.** Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária FAG, 3(1), e01234, 2020.

OSORIO, F. **As redes logísticas de Minas Gerais: os sistemas de transportes como agentes transformadores do espaço no Triângulo Mineiro.** 2019. 169 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. DOI <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.667>.

PACHECO, M. de F. de C. T. M. . **Entre Religião e Mercado: Será a Protecção do Bem-Estar dos Animais no Momento da Occisão um Requisito Necessário à Produção Biológica? A Resposta Recente do Tjue.** E- **Revista de Estudos Interculturais** , [S. l.], v. 1, n. 7, Vol. 1, 2021. DOI: 10.34630/erei.v1i7.4080. Disponível em: <https://parc.ipp.pt/index.php/e-rei/article/view/4080>. Acesso em: 02 fev. 2024

PAES K. L. **“Políticas para Mitigação da Emissão de Gases de Efeito Estufa e Sua**

**Aplicabilidade no Estado de Minas Gerais**”, Monografia para a Escola de Governo Professor Paulo Neves de Carvalho da Fundação João Pinheiro, 2017.

PASTRANA, M. E. O. et al. **Mapa do desenvolvimento da pecuária leiteira no estado de Minas Gerais, Brasil: nova abordagem na pecuária para a integração espacial de variáveis produtivas.** *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v. 66, n. 4, p. 1147-1154, 2014.

PATOS DE MINAS: **O pulmão da produção leiteira no Brasil.** G1, Triângulo Mineiro, 08 jul. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/triangulo-mineiro/especial-publicitario/coopatos/leite-a-tradicao-do-agro/noticia/2024/07/08/patos-de-minas-o-pulmao-da-producao-leiteira-no-brasil.ghtm>. Acesso em: 02 fev. 2024

PAULA, Kelvin Gabriel de et al. **Emissão de metano na pecuária: relação causa-efeito e mecanismos modulatórios.** *Pubvet*, v. 13, n. 01, p. 1-11, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n01a259.1-11>.

PEARCE, F. **Methane: the hidden greenhouse gas.** *New Scientist*, London, v. 6, n. 1663, 1989.

PELLEGRINO, G. Q., ASSAD, E. D., & MARIN, F. R. **Mudanças Climáticas Globais e a Agricultura no Brasil.** *Revista Multiciência*, 8, 2017.

PEREIRA, L. R. **Uma análise do movimento vegano em Portugal: A importância da crise ambiental nas estratégias e ações do movimento** [Dissertação de mestrado, Iscte - Instituto Universitário de Lisboa, 2017], 2019. Repositório Iscte. <http://hdl.handle.net/10071/19569> Acesso em: 12 fev. 2024

PEREIRA, M. D. **Avaliação de impactos ambientais causados pela atividade Mineradora no município de Romaria-MG.** 2021. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2021.

PICCININ, Y.; ROSSATO, M. **CUSTO DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA: UMA ANÁLISE DO CULTIVO DA SOJA EM UMA PROPRIEDADE RURAL DE JÚLIO DE CASTILHOS/RS, SAFRA 2016/2017.** *ABCustos*, [S. l.], v. 13, n. 3, p. 90–119, 2019. DOI: 10.47179/abcustos.v13i3.506. Disponível em: <https://revista.abcustos.org.br/abcustos/article/view/506>. Acesso em: 02 ago. 2024.

PRADO JÚNIOR, C.. **Formação do Brasil contemporâneo.** São Paulo: Brasiliense, 1977.

PREFEITURA MUNICIPAL DE IBIÁ. **Principais Atividades.** Disponível em: <https://www.ibia.mg.gov.br/principais-atividades/>. Acesso em: 02 fev. 2024

RATHMANN, R., ARAUJO, R. V., CRUZ, M. R., & MENDONÇA, A. M. **Trajетórias de mitigação e instrumentos de políticas públicas para alcance das metas brasileiras no Acordo de Paris.** Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2017.

REGO, A.; WRIGHT, C. **Uma análise da distribuição do crédito rural no Brasil.** *Brazilian Journal of Rural Economy and Sociology (Revista de Economia e Sociologia*

*Rural-RESR*), v. 19, n. 2, p. 217-238, 30 jun. 1981. DOI: 10.22004/ag.econ.267578. Disponível em: <https://ageconsearch.umn.edu/record/267578>. Acesso em: 02 Mar. 2024

REIS, L. BRITO, J. **MAPEAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA MESORREGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO/ALTO PARANAÍBA-MG (2008/2009; 2010/2011)**. Revista Tamoios. 7. 10.12957/tamoios.2011.4571, 2011.

RIBEIRO, W. C. **MUDANÇAS CLIMÁTICAS, REALISMO E MULTILATERALISMO**. Terra Livre, [S. l.], v. 1, n. 18, 2015. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/index.php/terralivre/article/view/144>. Acesso em: 1 out. 2022.

RINALDI, F. **A lei de Boyle como exemplo de experimentação e aprendizagem**. Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Física)—Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

ROSA, R.; SANO, E. E. **Uso da terra e cobertura vegetal na bacia do Rio Paranaíba**. Revista Campo-Território, Uberlândia, v. 9, n. 19 Out., p. 32–56, 2014. DOI:10.14393/RCT91924277. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/campoterritorio/article/view/24277>. Acesso em: 01 mar. 2024.

SALES, G. A. **Caracterização microbiológica e físico-química de queijo Minas Artesanal da microrregião de Araxá-MG durante a maturação em diferentes épocas do ano**. 106f. [Dissertação, Mestrado em Ciência Animal, Universidade Federal de Minas Gerais], 2015.

SANCHES, F. de O.; SILVA, R. V. da; FERREIRA, R. V.; CAMPOS, C. A. A. CLIMATE CHANGE IN THE TRIÂNGULO MINEIRO REGION – BRAZIL. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 21, 2021. DOI: 10.5380/abclima.v21i0.51867. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14024>. Acesso em: 03 mar. 2024.

SANTOS, D. **De genomas a comunidades: descrevendo alterações na comunidade bacteriana envolvida na oxidação do metano em solos da Amazônia**. 2019. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 2019. doi:10.11606/T.11.2019.tde-05082019-112352

SANTOS, G. J. dos; MARION, J.C.; SEGATTI, S.. **Administração de custos na agropecuária**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SANTOS, H. F.; TEODORO, M. A.; PEREIRA, M. F. V.; ALMEIRA, M. C.; FREDERICO, S. **Competitividade regional, expansão e implicações territoriais do setor sucroenergético no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba** In: Julia Adão Bernardes; Ricardo Castillo. (Org.). Espaço Geográfico e competitividade: regionalização do setor sucroenergético no Brasil. 1ed.Rio de Janeiro: Lamparina, 2019, v., p. 61-90.

SCHMIDINGER, K.S. Including co2 implications of land occupation leas —method and example for livestock products.**The international journal of life cycle assessment**, V.

17, N. 1, P. 962-972, 2012.

SCHUCK, C.; RIBEIRO, R. **Comendo o planeta : impactos ambientais da criação e consumo de animais**. 3 ED. Curitiba: Vesper Amb, 2015.

SEEG. **Nota Metodológica Agropecuária: SEEG 9 (2022) com Municípios**. 2022. Disponível em: [https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Notas%20Metodologicas/SEEG\\_9%20%282022%29%20com%20Municipios/Nota\\_Metodologica\\_AGRO\\_SEEG9\\_2022.05.23.pdf](https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Notas%20Metodologicas/SEEG_9%20%282022%29%20com%20Municipios/Nota_Metodologica_AGRO_SEEG9_2022.05.23.pdf) Acesso em: 02 fev. 2024

SEEG. **SEEG Soluções: Caminhos para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 2023. Disponível em: <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2023/12/SEEG-SOLUCOES.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2024

SELLARE, J.; MARTINELLI, F.; BÖRNER, J.. **Oportunidades e desafios para uma transformação do sistema alimentar impulsionada pela bioeconomia**. Bonn: Universidade de Bonn, Centro de Pesquisa para o Desenvolvimento (ZEF), nov. 2023. Estudo encomendado pelo APD | Diálogo Agropolítico Brasil - Alemanha. Disponível em: [https://apdbrasil.de/wp-content/uploads/2023/12/Sistema\\_Alimentar\\_Bioeconomia\\_PT.pdf](https://apdbrasil.de/wp-content/uploads/2023/12/Sistema_Alimentar_Bioeconomia_PT.pdf) f. Acesso em: 04 fev. 2024

SILVA R.W.C., PAULA B.L. **Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural**. Terra Didática, 5(1):45-49, 2009.

SILVA, G. S.; PENHA, L. S.. **PRODUÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS: AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS CAUSADOS, RESÍDUOS GERADOS E A IMPORTÂNCIA DO DESCARTE CORRETO**. 2021.

SILVA, J. **Os efeitos da crise econômica de 2014-2020 sobre a estrutura produtiva do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba: Uma análise dos principais municípios da região**. 2023. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

SILVA, J.; DE MOURA ZANINE, A.; SANTOS, E.. **Processo fermentativo, digestivo e fatores antinutricionais de nutrientes para ruminantes**. REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, v. VIII, n. 2, p. 1-13, 2007. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63614239013>. Acesso em: 3 ago. 2024

SOUTO, T. (2013). Produção de cana-de-açúcar na Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, Minas Gerais, Brasil. **Brazilian Geographical Journal**. 4. 27-54.

SOUTO, T. S. **A pecuária leiteira na microrregião geográfica de Ituiutaba (MG): atuação dos sujeitos da cadeia produtiva do leite**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/22212>. Acesso em: 25 jun. 2022.

SOUTO, T. S.; BEZZI, M. L. **O setor pecuário de leite bovino no Brasil e as políticas públicas: o município de Ituiutaba/MG como foco de análise**. ENANPEGE. Porto

Alegre, 2017.

**SOUZA C. V. ANÁLISE DO CUSTO DE PRODUÇÃO E RENTABILIDADE DA ATIVIDADE CAFEIEIRA: Um estudo da Safra de 2016 e 2017 em uma Propriedade Rural no Município de Serra do Salitre/MG, 2018.**

SOUZA E. T., LOPES W. A., ANDRADE A. FONTES, **Formação, reatividade e determinação de quinonas na atmosfera.** Quim. Nova, Vol. 39, No. 4, 486-495, 2016.

SOUZA, A. **A territorialização do agronegócio canavieiro em Frutal - MG.** 2012. 187 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

SOUZA, J. D. R., & DOS REIS, L. N. G. **MAPEAMENTO E ANÁLISE DO USO DOS SOLOS NO MUNICÍPIO DE IBIÁ-MG,** 2011.

SOUZA, L. C. **O agronegócio da pecuária no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba: relações de poder e políticas públicas de 1990 a 2010.** 2013. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade) - Instituto de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2013.

SOUZA, Larissa. *Após mínima histórica, Rio Negro apresenta elevações em Manaus (AM).* Serviço Geológico do Brasil, 15 out. 2024. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br>.

SCHOLZ, Mariana Caroline. *Litigância climática e a implementação das contribuições nacionalmente determinadas do Acordo de Paris pelo Brasil: uma análise a partir da abordagem ecossistêmica.* 2020. 312 p. Tese (Doutorado em Direito) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Jurídicas, Programa de Pós-Graduação em Direito, Florianópolis, 2020.

STEINFELD, H., GERBER, P., WASSENAAR, T., CASTEL, V., ROSALES, M. & HAAN, C. **Livestock's long shadow. Environmental issues and options.** rome: food and agriculture organization of the united nations, 2006.

STERN, N. Stern Review **The Economics of Climate Change,** UK, 2006. 267p.

STEUDLER, P. A.; BOWDEN, R. D.; MELILLO, J. M.; ABER, J. D. **Influence of nitrogen fertilization on methane uptake in temperate forest soils.** Nature, London, V. 341, P. 314-316, 1989.

SVERSUTTI, P. E. & YADA, M. M. Criação extensiva de bovinos de corte. V SIMTEC – Simpósio de Tecnologia, 5, 382-391, 2018.

SVB. **Nova pesquisa IPEC 2021 revela aumento de vegetarianos no Brasil.** Sociedade Vegetariana Brasileira, 2021. Disponível em: <https://svb.org.br/2649-nova-pesquisa-ipec-2021-revela/>. Acesso em: 02 fev. 2024

TAMBORIN, C. V.; SANTOS, R. J. **Expansão do cultivo de cana de açúcar na microrregião de Uberaba e a produção de leite.** Observatorium: Revista Eletrônica De Geografia, v.11, n.3, p.78-107, 2021.

TAPIO, I.; SNELLING, T.J.; STROZZI, F.; WALLACE, R.J. **The ruminal microbiome associated with methane emissions from ruminant livestock.** *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8(7): 1-11, 2017.

TAQUES, R. C. V., NEUMANN, P., & SOLAK, T. F. C. **O consumo de carne, a crise climática e a saúde mundial pela perspectiva da educação ambiental complexa.** *Revista brasileira de educação ambiental (revbea)*, 15(4), 55–69, 2020.

TEIXEIRA, J. C.; HESPANHOL, A. N. **A trajetória da pecuária bovina brasileira.** *Caderno prudentino de geografia*, [s. l.], v. 2, n. 36, p. 26–38, 2015. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/2672>. acesso em: 1 maio. 2023.

TEIXEIRA, M. E. S. **As estratégias de inserção das atividades sucroenergéticas nos espaços da pecuária bovina tradicional na MRG de Ituiutaba.** In: XIV ENANPEGE, 2021, João Pessoa. *Anais*, 2021. v. 1. p. 1-17. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/362608959>. Acesso em: 14 Nov. 2022.

TEIXEIRA, M. E. S. **Efeitos da expansão do setor sucroenergético sobre a pecuária bovina: uma avaliação na região de Ituiutaba/MG.** 2020. 224 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.137> Acesso em: 15 fev. 2023.

TEIXEIRA, P. F.; LIOTTI, R. G.; TORVES, J. C.; FINOTTI, A. F.; CABRAL, A.; VAZOLLER, R. F.; TEIXEIRA, C. E.; MARINHO, F. A. M. **Processo de oxidação do metano através das bactérias metanotróficas em coberturas de aterros sanitários.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS NÃO SATURADOS, 6., 2007, Salvador-BA. *Anais...* Salvador: ABMS, v.1,p.541-549, 2007.

UNITED NATIONS (UN). **Climate Change.** UN Climate Change Conference UK 2021. COP 26: The Glasgow Climate Pact. UK, 2021.

VALVERDE O. **Geografia da pecuária no Brasil.** *Finisterra* 2(4): 244–260, 1967.

VAN KRANENDONK, M.J., PHILIPPOT, P., LEPOT, K., BODORKOS, S., and PIRAJNO, F. Geological setting of Earth's oldest fossils in the ca. 3.5 Ga Dresser Formation, Pilbara Craton, Western Australia. **Precambrian Research**, v. 167, p. 93–124, 2008.

VASCONCELOS, L. A. M.; RIBEIRO, K. C. de S.; DE SOUZA, E. G. **GESTÃO ESTRATÉGICA DE CUSTOS: O CASO DE UMA OPERADORA LOGÍSTICA NA CADEIA DO AGRONEGÓCIO DO TRIÂNGULO MINEIRO.** *Anais do Congresso Brasileiro de Custos - ABC*, [S. l.], Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/2404>. Acesso em: 6 mar. 2023.

VECCHIA, F. A. DA S.; TECH, A. R. B.; NEVES, G. Z. DE F. (EDS.). **Climatologia Dinâmica.** São Carlos: RiMa Editora, 2020.

VEGAN BUSINESS. Mercado de carne vegana está crescendo no Brasil. 2022. Disponível em: <https://veganbusiness.com.br/mercado-de-carne-vegana-esta-crescendo-no-brasil/>. Acesso em: 10 Mai. 2024

VIÇOSO, L. C. B.; DIAS, B. A. S.; ROSENDO, J. S. (2016). **Mapeamento Das Pastagens Da Microrregião De Ituiutaba/MG No Ano De 2015**. XVIII ENG 2016, "A construção do Brasil: geografia, ação política e democracia", São Luís – MA, de 24 a 30 de Julho de 2016. OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia/ Faculdade de Ciências Integradas do Pontal.

WALLACE, R.J.; ROOKE, J.A.; DUTHIE, C.A.; HYSLOP, J.J.; ROSS, D.W.; MCKAIN, N.; MOTTA DE SOUZA, S.; SNELLING, T.J.; WATERHOUSE, A.; ROEHE, R. **Archaeal abundance in post-mortem ruminal digesta may help predict methane emissions from beef cattle**. Scientific Reports, 4(5892): 1-8, 2014.

WEARTM, S. **The discovery of global warming**. Cambridge, massachusetts. Harvard university press, 2008.

YOUNG, P. J.. **O Protocolo de Montreal protege o sumidouro de carbono terrestre**. Nature 596 : 384-88, 2021 Disponível em:[doi.org/10.1038/s41586-021-03737-3](https://doi.org/10.1038/s41586-021-03737-3). Acesso: 18 set. 2022.

ZAFANELI, E. S. R., TROCCOLI, L. R., & SCATULINO, P. L. S. (2016). **Consumidor, coletividade e comunidades de marca em discussão**. Desenvolve: Revista de Gestão da Unilasalle, 5(3). Canoas: RS.

ZOCCAL, R.; ASSIS, A. G.; EVANGELISTA, S. R. de M. **Distribuição geográfica da pecuária leiteira no Brasil**. Revista de Política Agrícola, v. 15, n. 4, 2006. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/517>.

ZOTTI, C. A. & PAULINO, V. T. **Metano na produção animal: emissão e minimização de seu impacto**. Nova Odessa, São Paulo, Brasil: Instituto de Zootecnia, 2009.