



Foto: Izabelly Marques, Tiradentes, MG
Fonte: unsplash

*Programa de Cooperação entre Brasil e
Reino Unido em Finanças Verdes*

4º Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa

Estado de Minas Gerais

2022

Implementação:



Secretaria de Estado de Meio Ambiente
e Desenvolvimento Sustentável

EXPEDIENTE

ASSOCIADO

Governo do Estado de Minas Gerais

PROJETO

Inventário de Gases de Efeito Estufa e Plano de Ação Climática de Minas Gerais

GOVERNO DE MINAS GERAIS

Romeu Zema Neto
Governador

Paulo Eduardo Rocha Brant
Vice-Governador

Marília Carvalho de Melo
Secretária do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

Renato Teixeira Brandão
Presidente da Fundação Estadual do Meio Ambiente

Renata Maria Araújo
Chefe de Gabinete da Fundação Estadual do Meio Ambiente

Alessandro Ribeiro Campos
Coordenador do Núcleo de Sustentabilidade, Energia e Mudanças Climáticas

CDP Latin America

Andreia Banhe
Gerente Sênior de Cidades, Estados e Regiões

Miriam Garcia
Gerente Sênior de Policy

Maria Clara Nascimento
Analista Sênior de Cidades, Estados e Regiões

Ana Paula Zillig
Analista de Projetos

ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade

Rodrigo de Oliveira Perpétuo
Secretário-Executivo

Leta Vieira
Gerente Regional Técnica

Armelle Cibaka
Coordenadora Regional de Gestão de Conhecimento e Juventudes e Coordenadora do Escritório de Minas Gerais

Ana Wernke
Coordenadora de Relações Institucionais e Advocacy

Iris Coluna
Assessora Regional de Baixo Carbono

Marina Lopes
Assessora de Baixo Carbono e Resiliência

Kaccnny Carvalho
Analista Regional de Baixo Carbono

Marília Israel
Analista do Escritório de Minas Gerais

Carolina Diniz
Assistente de Baixo Carbono e Resiliência

Colaboradores

Carolina Lobello Lorensini
Edwan Fernandes Fioravante
Karla Jorge da Silva
Larissa Maia Vicente de Lima
Leonardo Vieira de Faria
Mariana Figueiredo Lopes
Mariana Gabriela de Oliveira
Pedro D'Angelo Ribeiro
Pedro Oliveira de Sena Batista
Rosa Carolina Amaral
Thamiris Lopes Chave

PREFÁCIO

Governo do estado de Minas Gerais

O inventário de emissões e remoções de gases de efeito estufa é um passo fundamental na construção de uma estratégia de enfrentamento à emergência climática. O conhecimento e acompanhamento periódico das emissões e remoções antrópicas no estado subsidiam tomadas de decisões assertivas nos caminhos a serem trilhados para o alcance da neutralidade climática. Nessa trajetória, repleta de desafios e oportunidades, o inventário se torna uma importante ferramenta capaz de orientar a formulação de políticas públicas alinhadas à estratégia climática mundial.

O uso de uma metodologia reconhecida internacionalmente, tal como preconizado neste 4º Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa de Minas Gerais, proporciona uma ferramenta que dialoga com os diversos atores, nacionais e internacionais, e os tornam capazes de compreender o cenário climático no qual Minas Gerais encontra-se inserido, os resultados dos esforços realizados através das ações governamentais e não governamentais locais e o comprometimento deste Governo naquilo que está ao seu alcance para o enfrentamento das causas das mudanças climáticas globais.

Marília Carvalho de Melo

**Secretária de Estado de Meio Ambiente e
Desenvolvimento Sustentável de Minas
Gerais**

Os inventários de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa (GEE) de nível estadual tem um especial papel de fornecer dados de melhor detalhamento para esse recorte territorial, permitindo que os formuladores de políticas públicas, os diversos setores econômicos e sociais e a população local compreendam as fontes de emissão e de remoção existentes, bem como as tendências no balanço resultante dessas atividades.

Essa quarta edição do Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa de Minas Gerais contou com o importante apoio realizado pelo *Green Recovery Challenge Fund - UK Pact*, do *British Consulate in Belo Horizonte*, do *CDP Latin America* e do *ICLEI – Local Governments for Sustainability*. Buscando priorizar a transparência e construção participativa, essa edição do inventário estadual foi elaborada através da colaboração entre diversas entidades públicas, representativas setoriais, de pesquisa, associações, dentre outras, para a coleta de dados e informações que aproximam os resultados obtidos da realidade das atividades de emissão e remoção no território estadual.

O diagnóstico apresentado por esse inventário, em especial, será chave para a atualização das medidas previstas no Plano de Energia e Mudanças Climáticas de Minas Gerais e estruturação das diretrizes para a ação climática pelo governo estadual nas próximas décadas, com foco em alcançarmos o cenário de neutralidade em até 2050.

Renato Teixeira Brandão

**Presidente da Fundação Estadual do Meio
Ambiente**

UK Pact

Nas últimas décadas, o Reino Unido esteve na vanguarda da ação climática. O Reino Unido descarbonizou sua economia mais rapidamente do que qualquer outro país do G20 desde 2000 e se tornou a primeira grande economia a colocar em lei a meta de zero emissões líquidas de carbono até 2050. Como presidente da COP26, assumimos a responsabilidade de promover essa causa em um nível global. Para entregar uma mudança global, trabalhamos incansavelmente para promover a agenda climática e colaborar com todos os parceiros internacionais e identificar parceiros-chaves com valores em comum.

Tenho orgulho de representar o governo do Reino Unido em um Estado que abraçou a agenda climática como nenhum outro no Brasil. O governo do Estado de Minas Gerais mostrou ambição e pragmatismo para se tornar o primeiro Estado da América Latina e Caribe a aderir à campanha *Race to Zero*. Essa conquista fez com que Minas Gerais virasse o benchmark para ação climática não apenas no Brasil, mas em toda a América do Sul, rumo à COP26. Uma combinação oportuna de Secretarias de Governo de Estado tecnicamente excelentes, apoio político do mais alto nível e uma forte colaboração com a missão diplomática do Reino Unido no Brasil proporcionou a oportunidade perfeita para alcançar esse marco.

Depois do sucesso de aumentar a ambição, enfrentamos agora o desafio de implementar soluções. O caminho à frente não é simples. Há decisões difíceis a serem tomadas sobre quais caminhos devem ser tomados em inovação e políticas públicas. É por isso que colaborações como este Inventário de GEE

são cruciais para cumprir os compromissos ambiciosos que foram assumidos. Devemos garantir que não estamos apenas trabalhando com outros governos, mas também trazendo à mesa o setor privado, a academia, as ONGs e o setor financeiro. Uma abordagem “*multi-stakeholder*” é imperativa para enfrentar os desafios que as mudanças climáticas apresentam.

O fato de que temos um Consulado Britânico em Belo Horizonte é evidência do compromisso do Governo Britânico ao estado de Minas Gerais. Contem conosco nesse caminho desafiador, mas repleto de oportunidades.

Lucas Brown

Cônsul Britânico em Belo Horizonte

**Foreign, Commonwealth &
Development Office**

British Government

CDP Latin America

Ação climática pode ser caracterizada tanto pela necessidade de implementar ações com impactos globais de mitigação, por exemplo, por meio de ações de redução de emissões de gases de efeito estufa, quanto pelo reconhecimento das especificidades regionais para adoção de ações localizadas de adaptação e resiliência. Em ambos os casos, trata-se de uma agenda que precisa do engajamento de diferentes atores da sociedade, incluindo estados, municípios, empresas, investidores e organizações da sociedade civil. Esses atores podem implementar ações para redução de emissões de gases de efeito estufa, ações para aumentar a resiliência e usufruir de benefícios econômicos e sociais advindos de uma economia de baixo carbono. Cada vez mais temos visto que os governos subnacionais têm se colocado à frente dessa luta, planejando políticas públicas e implementando ações mais sustentáveis e socialmente inclusivas. Nesse contexto, o Estado de Minas Gerais tem monitorado suas estratégias frente às mudanças climáticas na plataforma CDP Estados & Regiões desde 2018.

Em 2021, o Estado de Minas Gerais tornou-se o primeiro estado da América Latina a aderir à campanha do *Race to Zero*. Desde então, o estado tem avançado no compromisso assumido para alcançar a neutralidade de carbono até 2050. Nesse sentido, o CDP Latin America por meio de um projeto financiado pelo UK PACT Brasil, com o apoio da embaixada do Reino Unido no Brasil, está apoiando o estado na atualização do seu quarto inventário de gases de efeito estufa (GEE). Esse documento foi elaborado pelo ICLEI América do Sul, em parceria com a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e

Desenvolvimento de Minas Gerais (SEMAD), Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) e outros representantes do Estado de Minas Gerais.

A realização do inventário é de extrema importância, pois disponibiliza uma série de informações que servirá para nortear as ações do estado no combate à emergência climática e aproveitar as oportunidades decorrentes deste momento. Esse instrumento é o primeiro passo rumo a descarbonização e reforça o compromisso do Estado de Minas Gerais com a agenda climática, deixando claro que governos subnacionais são protagonistas na luta contra as alterações do clima e na preservação de ecossistemas vitais.

O CDP está honrado em fazer parte desse processo tão enriquecedor e de tantos aprendizados com todos os atores envolvidos. Esperamos que esse trabalho possa contribuir com o estado de Minas Gerais para um futuro sustentável e resiliente para os negócios e a população.

Rebeca Lima

Diretora Executiva do CDP Latin America

ICLEI América do Sul

Associado ao ICLEI desde 2007, o Estado de Minas Gerais abriga os biomas Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga e as nascentes de alguns dos principais rios brasileiros, o que o coloca em posição estratégica no que se refere à biodiversidade, aos recursos hídricos e ao desenvolvimento sustentável. Porém, assim como todas as regiões do Planeta, Minas Gerais sente os impactos cada vez mais frequentes do aquecimento global, especialmente os ligados às chuvas extremas.

Diante deste contexto, o Estado vem trabalhando para acelerar sua ambição climática e tornar o território mais resiliente aos impactos da crise climática. Signatário da campanha global *Race to Zero*, Minas Gerais está comprometido com a neutralização de suas emissões de carbono até 2050.

Neste contexto, elaborou seu 4º Inventário de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (GEE). O documento foi produzido a partir de parceria entre o Governo do Estado de Minas Gerais, o CDP Latin America e o ICLEI América do Sul, por meio do UK PACT (Partnering for Accelerated Climate Transitions), programa de cooperação em finanças verdes do Reino Unido. A operacionalização deste projeto é inovadora e disponibiliza uma base de dados que

servirá para a implementação de ações climáticas mais ambiciosas, colaborativas e baseadas na ciência.

O 4º Inventário traz uma atualização das emissões e remoções oriundas das principais atividades desenvolvidas no território. Tem como base os dados de atividades dos setores de Energia, Resíduos, IPPU (Processos Industriais e Uso de Produtos) e AFOLU (Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra) entre 2015 e 2019. É, portanto, uma potente ferramenta para o desenvolvimento de estratégias robustas de mitigação à mudança do clima. A utilização da metodologia do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) favorece a comparabilidade e robustez desse documento, permitindo que Minas Gerais acelere seus passos rumo à neutralidade climática.

O ICLEI América do Sul se orgulha em fazer parte desta história e de apoiar Minas Gerais na construção de um caminho de desenvolvimento de baixo carbono, baseado na natureza, resiliente, circular, equitativo e centrado nas pessoas!

Boa leitura!

Rodrigo Perpétuo

Secretário Executivo do ICLEI América do Sul

LISTA DE ACRÔNIMOS

ACA	Aliança pela Ação Climática
AFOLU	Agricultura Florestas e Outros Usos do solo
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AR5	Quinto Relatório de Avaliação do IPCC
CBMM	Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração
CEMIG	Companhia Energética De Minas Gerais
CGH	Centrais Geradoras Hidrelétricas
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
CO ₂ e	Dióxido de Carbono Equivalente
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CTRS	Central de Tratamento de Resíduos Sólidos
CTR	Central de Tratamento de Resíduos
EBC	Núcleo de Estudos de Economias de Baixo Carbono
EFVM	Estrada de Ferro Vitória a Minas
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
F _{gases}	Gases Fluorados
FC	Fluorcarbonos
FCA	Ferrovia Centro Atlântica
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
GEE	Gases de Efeito Estufa

GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GNV	Gás Natural Veicular
GWP	Potencial de Aquecimento Global
HFC	Hidrofluorcarbonos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICLEI	Governos Locais pela Sustentabilidade
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IESMS	Índice de Avaliação do Sistema de Esgotamento Sanitário Municipal
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima
IPPU	Processos Industriais e Uso de Produtos
MME	Ministério de Minas e Energia
MtCO ₂ e	Milhões de Toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente
MUT	Mudança e Uso da Terra
N ₂ O	Óxido Nitroso
NDC	Contribuição Nacionalmente Determinada
NOAA	Administração Nacional Oceânica e Atmosférica
PAM	Produção Agrícola Municipal
PESB	Plano Estadual de Saneamento Básicos de Minas Gerais
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas

PFC	Perfluorocarbonos
PIB	Produto Interno Bruto
QVA	Querosene de Aviação
REGAP	Refinaria Gabriel Passos
RGI	Regiões Geográficas Intermediárias de Minas Gerais
RMMG	Recursos Minerais de Minas Gerais
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
RSS	Resíduo de Serviço de Saúde
SEMAD	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais
SF ₆	Hexafluoreto de Enxofre
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
SIN	Sistema Interligado Nacional
SNIC	Sindicato Nacional da Indústria do Cimento
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SO ₂	Dióxido de Enxofre
SSBH	Aeroporto Carlos Drummond de Andrade
tCO ₂ e	Tonelada de Dióxido de Carbono Equivalente
tep	Toneladas Equivalentes de Petróleo
UABS	Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo
UC	Unidade de Conservação
UNFCCC	Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas
UTC	Unidades de Triagem e Compostagem

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Concentração de CO ₂ na atmosfera nos últimos 800.000 anos.	19
Figura 2 - Mecanismo do Efeito Estufa.	20
Figura 3 - Correlação entre aumento de temperatura e concentração de CO ₂ na atmosfera.	22
Figura 4 - Aumento da temperatura média no Brasil.	23
Figura 5 - Mapa de vulnerabilidade climática por município de Minas Gerais.	24
Figura 6 - Aumento da temperatura média em Minas Gerais.	25
Figura 7 - Mapa de capacidade de adaptação por município de Minas Gerais.	26
Figura 8 - Bacias hidrográficas de Minas Gerais	35
Figura 9 - Mapa de mesorregiões de Minas Gerais.	37
Figura 10 - Unidade de uso sustentável e proteção integral em Minas Gerais.	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução da disposição final de resíduos sólidos no estado de Minas Gerais entre os anos de 2008 a 2019	44
Gráfico 2 - Principais rotas de tratamento de efluentes líquidos observadas no estado de Minas Gerais, 2015-2019	46
Gráfico 3 - Evolução das emissões brutas no estado de Minas Gerais para o período de 2015 a 2019.....	52
Gráfico 4 - Emissões brutas por setor no estado de Minas Gerais para os anos de 2015 a 2019.....	53
Gráfico 5 - Perfil médio de emissões brutas por setor para anos de 2015 a 2019.....	54
Gráfico 6 - Evolução das emissões do setor de Energia por subsetor entre os anos de 2015 e 2019	55
Gráfico 7 - Evolução das emissões de fontes móveis entre os anos de 2015 e 2019	56
Gráfico 8 - Emissões totais por tipo de combustível consumido por fontes móveis, por ano (2015-2019)	57
Gráfico 9 - Contribuição percentual de Gasolina C e Óleo Diesel nas emissões por fontes móveis, 2015-2019	58
Gráfico 10 - Emissões anuais por bunkers do estado de Minas Gerais, 2015-2019.....	59
Gráfico 11 - Evolução das emissões totais por fontes estacionárias, por ano (2015-2019).....	60
Gráfico 12 - Perfil das emissões por fontes estacionárias	61
Gráfico 13 - Emissões totais por tipo de combustível consumido por fontes estacionárias, por ano (2015-2019).....	62
Gráfico 14 - Evolução das emissões do setor de resíduos e subsetores entre os anos de 2015 e 2019.....	64
Gráfico 15 - Perfil das emissões do setor de resíduos.	64
Gráfico 16 - Emissões por tipo de disposição final para os anos de 2015 a 2019.	65
Gráfico 17 - Emissões pela incineração e queima a céu aberto (2015-2019).	66
Gráfico 18 - Emissões pelo tratamento de efluentes líquidos domésticos e industriais (2015-2019).	67
Gráfico 19 - Emissões pelo tratamento de efluentes domésticos por tipo de coleta e tratamento (2015-2019).....	68
Gráfico 20 - Emissões pelo tratamento de efluentes industriais por tipo produção (2015-2019). ..	69
Gráfico 21 - Contribuição de emissões de efluentes líquidos industriais.....	70
Gráfico 22 - Emissões da produção industrial em Minas Gerais para os anos de 2015 a 2019.	71
Gráfico 23 - Contribuição de emissões por setor produtivo (2015-2019).....	72
Gráfico 24 - Perfil das emissões de IPPU.	72
Gráfico 25 - Evolução das emissões na indústria de metais (2015-2019).	73
Gráfico 26 - Evolução das emissões da indústria mineral (2015-2019).....	75
Gráfico 27 - Evolução das emissões da indústria química (2015-2019).	76
Gráfico 28 - Evolução das emissões brutas de AFOLU entre os anos de 2015 e 2019.....	77

Gráfico 29 - Evolução das emissões de Agropecuária entre os anos de 2015 e 2019.....	78
Gráfico 30 - Evolução das emissões de Pecuária entre os anos de 2015 e 2019.	79
Gráfico 31 - Emissões de fermentação entérica por tipo de rebanho para os anos de 2015 e 2019.	80
Gráfico 32 - Emissões pelo manejo de dejetos por tipo de rebanho nos anos de 2015 e 2019.	81
Gráfico 33 - Evolução das emissões de Agricultura entre os anos de 2015 e 2019.	82
Gráfico 34 - Perfil médio das emissões de Agricultura no estado de Minas Gerais (2015-2019).	83
Gráfico 35 - Evolução das emissões pelo cultivo de arroz irrigado no estado de Minas Gerais, 2015- 2019.....	84
Gráfico 36 - Evolução das emissões de calagem no estado de Minas Gerais, 2015-2019.	85
Gráfico 37 - Evolução das emissões de solos manejados por fonte para o estado de Minas Gerais, 2015-2019.	86
Gráfico 38 - Emissões de resíduos culturais por tipo de cultura (2015-2019).....	87
Gráfico 39 - Perfil das emissões de resíduos culturais no estado de Minas Gerais.....	88
Gráfico 40 - Emissões pela renovação de pastagens por tipo de bioma, 2015-2019.....	89
Gráfico 41 - Evolução das emissões da queima de resíduos culturais da cana-de-açúcar no estado de Minas Gerais no período de 2015 - 2019.....	90
Gráfico 42 - Emissões brutas pela mudança do uso da terra no estado de Minas Gerais, 2015-2019.	91
Gráfico 43 - Emissões brutas desagregadas por bioma oriundas da mudança do uso da terra no estado de Minas Gerais, 2015-2019.	92
Gráfico 44 - Emissões pela transição de floresta primária para diferentes tipos de uso da terra no estado de Minas Gerais, 2015-2019.	93
Gráfico 45 - Remoções de CO ₂ e oriundas da mudança do uso da terra para o estado de Minas Gerais, 2015-2019.	94
Gráfico 46 - Remoções de CO ₂ e oriundas da mudança do uso da terra para o estado de Minas Gerais, por bioma, 2015-2019.	94
Gráfico 47 - Evolução das emissões líquidas totais no estado de Minas Gerais, 2015-2019.	95
Gráfico 48 - Evolução das emissões líquidas desagregadas por setor para o estado de Minas Gerais, 2015-2019.	96
Gráfico 49 - Perfil de emissões no estado de Minas Gerais, considerando as emissões líquidas, 2015-2019.	97

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. IMPACTOS DA MUDANÇA DO CLIMA	18
2.1. No Brasil	21
2.2. No estado de Minas Gerais	24
3. DIRETRIZES DO IPCC	27
3.1. Setores de emissão de gases de efeito estufa	27
3.1.1. Energia	27
3.1.2. Resíduos.....	28
3.1.3. Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU).....	29
3.1.4. Agricultura, Floresta e outros Usos da Terra (AFOLU)	30
3.2. Aspectos transversais	32
3.3. Gases de efeito estufa	32
3.4. Método de cálculos simplificado.....	33
4. CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DE MINAS GERAIS	34
4.1. Caracterizações por setor de emissão	41
4.1.1. Energia	41
4.1.1.1. Energia Estacionária.....	41
4.1.1.2. Transportes	42
4.1.2 Resíduos.....	43
4.1.2.1. Resíduos sólidos	43
4.1.2.2. Efluentes Líquidos	45
4.1.3. Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU).....	47
4.1.4. Agricultura, Floresta e Outros Usos do Solo (AFOLU)	48
4.1.4.1. Agropecuária.....	48
4.1.4.2. Uso da terra, mudança de uso da terra e florestas.	49
5. RESULTADOS CONSOLIDADOS	52
5.1. Emissões brutas totais.....	52
5.2. Emissões por setor	54
5.2.1. Energia	54

5.2.1.1. Fontes móveis	55
5.2.1.2. Fontes estacionárias e emissões fugitivas	59
5.2.2. Resíduos.....	63
5.2.2.1. Disposição final de resíduos sólidos	65
5.2.2.2. Incineração e queima a céu aberto	66
5.2.2.3. Efluentes líquidos domésticos e industriais.....	66
5.2.2.3.1. Efluentes líquidos domésticos	67
5.2.2.3.2. Efluentes líquidos industriais	68
5.2.3. IPPU	70
5.2.3.1. Indústria de Metais	72
5.2.3.2. Indústria de Minerais	73
5.2.3.3. Indústria Química.....	75
5.2.4. AFOLU	76
5.2.4.1. Agropecuária.....	77
5.2.4.2. Pecuária.....	78
5.2.4.3. Agricultura.....	82
Cultivo de arroz	83
Calagem.....	84
Solos Manejados	85
Queima de resíduos culturais	89
5.2.4.7. Mudança e Uso da Terra (MUT).....	90
5.2.4.8. Alteração do uso do solo	91
5.2.4.9. Queima de resíduos florestais	95
5.3. Emissões líquidas totais.....	95
6. LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES.....	98

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
ANEXOS	112
Anexo A - Mapeamento das fontes de emissão	112
Anexo B - Referencial metodológico IPCC.....	123
Anexo C - Fatores de emissão	140

1. INTRODUÇÃO

A mudança climática, por definição do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), envolve alterações e/ou variações no comportamento do clima de forma persistente e por períodos prolongados. Neste contexto, o aumento da temperatura média global torna-se uma ameaça à vida na terra na medida em que provoca a perda da biodiversidade, mudanças nos padrões históricos de precipitação, o derretimento de geleiras, e consequente aumento do nível do mar. Com a ocorrência de tais eventos, os ambientes mais impactados são os com as maiores concentrações de população, os centros urbanos, justamente pela intensa impermeabilização e ocupação do solo (IPCC, 2022).

Como principal marco internacional de enfrentamento à mudança do clima, destaca-se o Acordo de Paris, no qual diversos países firmaram o compromisso de redução da emissão de gases de efeito estufa (GEEs), de forma a controlar o aquecimento global e minimizar a ocorrência de eventos climáticos extremos. O Brasil apresentou como objetivo abater o equivalente a 37% de suas emissões até o ano de 2025, 50% até 2030 e neutralizar suas emissões até 2050, tendo como base o ano de 2005. Tal acordo de redução de emissões de GEE visa à manutenção dos níveis de aquecimento da Terra inferior a 2°C, tendo como base as temperaturas da era pré-industrial (UNFCCC, 2022).

Diante de um cenário de evolução de ocorrências de eventos climáticos, sendo cada vez mais intensos e frequentes. Minas Gerais se caracteriza como um estado com grande presença de áreas vulneráveis a eventos extremos, principalmente na região norte, sendo estas, também, áreas com grande vulnerabilidade social e baixa capacidade de adaptação às mudanças climática (FEAM, 2017).

Destaca-se que no início de 2019 diversas cidades da Região Metropolitana sofreram com intensas chuvas, gerando alagamentos e deslizamentos. Em 2021, 139 cidades do norte de Minas decretaram estado de emergência devido à falta de água (Estado de Minas, 2021b), sendo a usina hidrelétrica de Furnas, a maior do Estado, bastante impactada, operando com cerca de 17% da sua

capacidade e provocando um prolongado racionamento em suas regiões de abastecimento (Estado de Minas, 2021a).

Já no início de 2022 novamente foram observados índices altos de precipitação, gerando prejuízos para cerca de 119 mil hectares de lavouras e colocando 341 municípios em estado de emergência devido às fortes chuvas (Agência Minas, 2022 e Emater-MG, 2022).

Desde 2005, com a criação do Fórum Mineiro de Mudanças Climáticas, o estado de Minas Gerais vem construindo uma extensa base de instrumentos políticos e compromissos assumidos relacionados à agenda climática. Associado à rede do ICLEI América do Sul desde 2007, Minas Gerais tem realizado, ao longo dos anos, ações que ratificam sua posição no enfrentamento da crise climática, como a participação, desde 2021, no projeto *Race to Zero*, buscando zerar as emissões líquidas de gases de efeito estufa até 2050. Nesse contexto, o Inventário de Gases de Efeito Estufa (GEE) se qualifica como uma das ferramentas imprescindíveis para a conformidade climática do estado e análise do cenário atual de emissões, dando embasamento para a construção de metas de redução da emissão de GEE em seu Plano Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas.

Dessa forma, o presente relatório apresenta estimativas de emissões de GEE dos anos de 2015 a 2019 para o estado de Minas Gerais, de acordo com a seguinte estrutura e detalhamento:

1. **Introdução** - Apresenta brevemente o conceito de mudança do clima e a importância da ação climática, bem como o contexto da atuação do estado de Minas Gerais e a estrutura do documento;
2. **Impacto da mudança do clima** - Apresenta os principais impactos da mudança do clima a nível nacional e no território de Minas Gerais, abordando, por exemplo, aspectos ambientais, econômicos e de saúde pública;
3. **Diretrizes do IPCC** - Apresenta as metodologias adotadas para estimar as emissões antrópicas do estado com base nas diretrizes do IPCC, mundialmente aplicada;
4. **Caracterização do estado** - Apresenta as principais características e atividades desenvolvidas no estado. Tais informações são apresentadas a partir da separação em quatro setores (os mesmos da metodologia de cálculo de emissões): Energia, Resíduos,

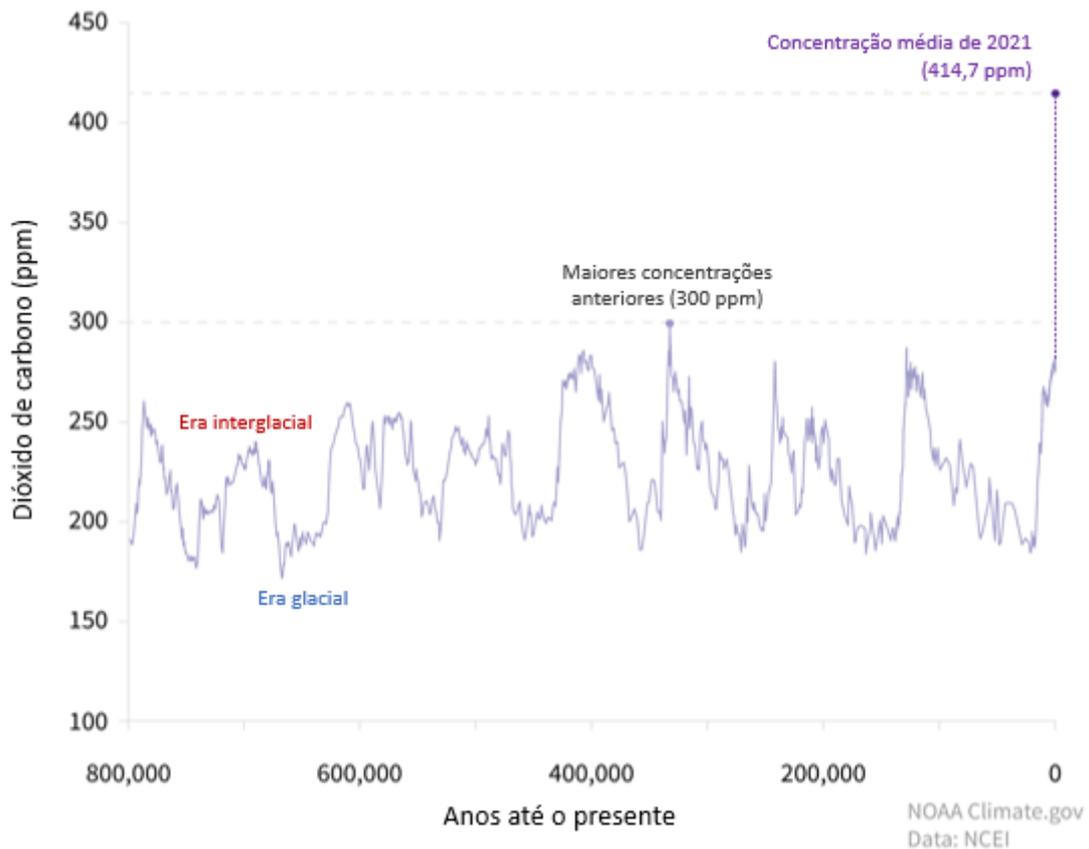
Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU), e Agricultura, Floresta e Outros Usos do Solo (AFOLU);

5. **Resultados consolidados** - Apresenta resultados do inventário de emissões de gases de efeito estufa do estado, segregando-os em emissões totais, emissões por setor, entre outros;
6. **Recomendações** - A partir das lacunas de informações e demais entraves ao longo do processo de elaboração do inventário, apresenta ao estado as principais recomendações para a continuidade do desenvolvimento de inventários nos próximos anos, de modo a garantir uma série histórica de emissões no estado.
7. **Considerações finais** – Apresenta as reflexões finais do relatório sobre os resultados alcançados;
8. **Referências** - Apresenta todas as referências bibliográficas consultadas para a elaboração deste relatório, incluindo *links* de acesso, sempre que disponíveis;
9. **Anexos** - Apresentam de forma detalhada as fontes de dados utilizadas, a metodologia adotada para cada setor do inventário e fatores de emissão.

2. IMPACTOS DA MUDANÇA DO CLIMA

O efeito estufa é um evento natural e necessário para a existência de vida no planeta, responsável por controlar a temperatura terrestre e, assim, contribuir para a existência e manutenção da vida na Terra. Entretanto, muitos avanços industriais culminaram no aumento das emissões de gases que provocam o efeito estufa. Com a ampliação do uso de maquinários industriais movidos a combustíveis fósseis, o aumento do uso individual de automóveis, e com o próprio desmatamento e queimadas, foi observado um aumento das emissões de GEE, em especial o dióxido de carbono (CO₂), atingindo as maiores concentrações deste tipo de gás na atmosfera em anos recentes, conforme apresentado na Figura 1. Gerando, assim, uma intensificação desse fenômeno e provocando grandes desequilíbrios na regulação térmica terrestre.

Figura 1 - Concentração de CO₂ na atmosfera nos últimos 800.000 anos.



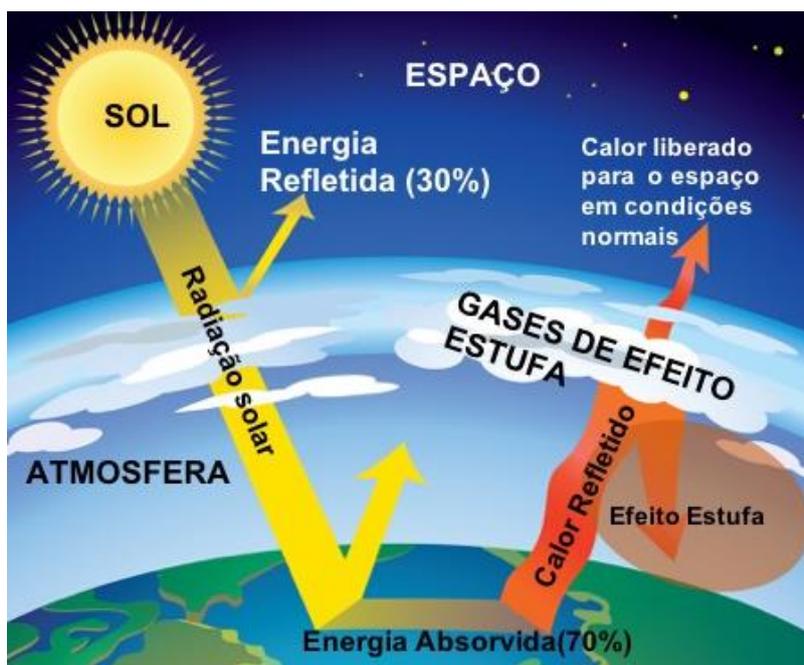
Fonte: Adaptado de NOAA Climate, 2021.

Resumidamente, o efeito estufa ocorre pela irradiação solar na Terra, onde cerca de 30% dessa radiação solar é prontamente refletida de volta para o espaço pela atmosfera e pela superfície terrestre. Enquanto isso, aproximadamente 70% dessa é absorvida pela terra, pelos oceanos e, em menor grau, pela própria atmosfera, aquecendo o planeta, como mostrado na Figura 2 (CAÑELLAS, 2018).

Essa radiação recebida pela superfície é então irradiada de volta na forma de luz infravermelha invisível, em comprimentos de onda bem maiores. Enquanto parte da luz infravermelha segue para espaço, a grande maioria (cerca de 90%) é absorvida pelas nuvens e por determinados gases atmosféricos – conhecidos como gases de efeito estufa (GEE) – sendo redirecionada de volta para a Terra e causando ainda mais aquecimento (IPCC, 2007; DENCHAK, 2019).

Neste contexto, o aumento da temperatura média global torna-se uma ameaça à vida na terra a medida em que provoca a perda da biodiversidade, mudanças nos padrões históricos de precipitação, derretimento de geleiras e, conseqüente aumento do nível do mar, podendo provocar a total submersão de áreas costeiras que abrigam, por exemplo, cerca de 26,6% da população brasileira (IBGE, 2011), apenas para citar alguns dos desdobramentos.

Figura 2 - Mecanismo do Efeito Estufa.



Fonte: CAÑELLAS, 2018.

A mudança do clima tem impactos profundos e prolongados no planeta. Esses impactos resultam da interação dos perigos relacionados ao clima (eventos extremos e suas tendências) com o grau de vulnerabilidade de um território, que, por sua vez, é resultado dos parâmetros de sensibilidade e exposição aos eventos e de sua capacidade de adaptação.

A resiliência é um fator bastante importante para as cidades se adaptarem aos eventos extremos, porém para se frear a mudança climática é de suma importância à redução das emissões de gases de efeito estufa, já que tais gases provocam o agravamento do aumento da temperatura do planeta, afetando tanto o equilíbrio ambiental, quanto a economia, a saúde humana e o bem-estar das pessoas.

O IPCC (2014) classifica os efeitos da Mudança do Clima em três grandes categorias:

1. Impactos nos sistemas físicos: relacionados à aceleração dos fenômenos meteorológicos, como alteração na frequência e intensidade de chuvas e ventos, ondas de calor, secas prolongadas; elevação do nível do mar, entre outros;
2. Impactos nos sistemas biológicos: relacionados a queimadas, migração ou extinção de espécies de animais e vegetais, interrupção das interações bióticas;
3. Impactos nos sistemas humanos e de gestão: relacionados à produção de alimentos e saúde.

Dessa forma, é possível compreender a dimensão dos impactos gerados pela mudança climática e, como frisado pelo Acordo de Paris, a mitigação das emissões de gases de efeito estufa é uma importante ferramenta para se conter o aumento da temperatura média global e, conseqüentemente, os efeitos gerados por isto no planeta. Nos itens a seguir, serão apresentados os principais impactos da mudança do clima em nível nacional (item 2.1) e estadual (item 2.2).

2.1. No Brasil

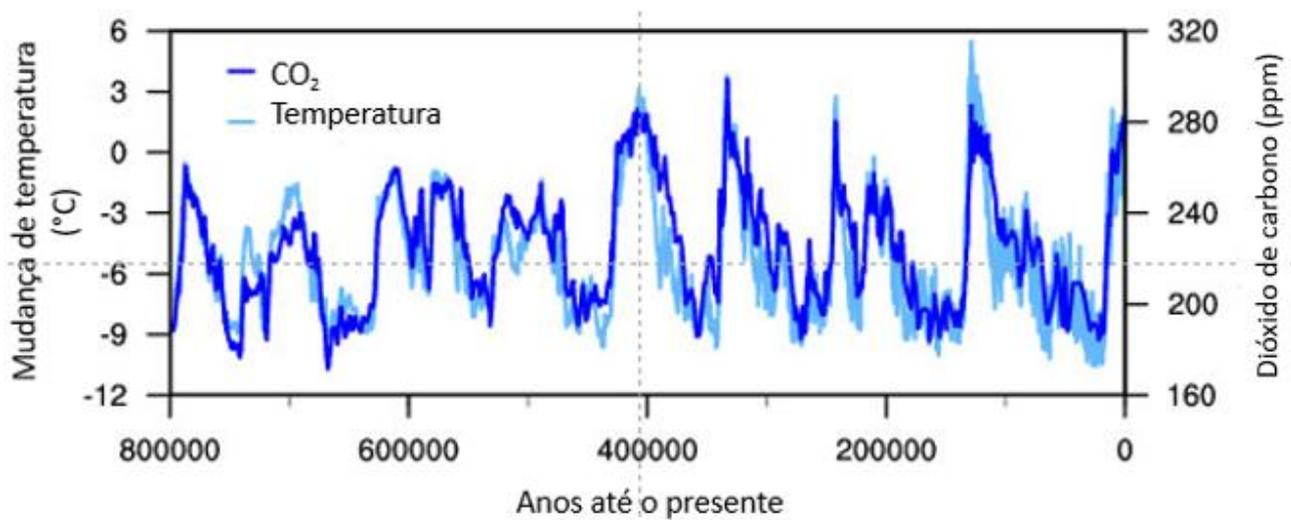
No Brasil, as oscilações de temperatura tem se tornado cada vez mais perceptíveis, provocando alterações no clima, no ciclo hidrológico e na escala de eventos extremos, com longos períodos de secas ou grandes chuvas, impactando direta e indiretamente diversas cidades, ecossistemas e biomas. Atualmente, o país enfrenta diversos impactos causados pelas alterações climáticas, principalmente em seus centros urbanos, onde estes são exacerbados por serem ambientes onde a concentração populacional e de infraestruturas. Dentre esses impactos estão: o aumento de temperatura, ondas de calor, aumento do nível médio do mar, inundações, enchentes, escassez hídrica e de alimentos, e deslizamentos de terra (PBMC, 2016).

Como apresentado pelos relatórios do IPCC, a perda da qualidade ambiental dos territórios está diretamente relacionada à vulnerabilidade aos impactos da mudança do clima. Ao avaliarmos as regiões de alta vulnerabilidade socioambiental, a ocorrência de tais alterações climáticas podem se tornar ainda mais severas a estas populações, agravando desigualdades existentes, dado que tais áreas podem não possuir infraestruturas urbanas de drenagem, esgotamento sanitário e áreas

verdes, possuindo, também, menos recursos financeiros (IPCC, 2014). É desta ideia que surge o conceito de injustiça climática, que traz atenção para o fato de que as parcelas da população que menos contribuíram para a mudança do clima, ou seja, que menos emitiram gases de efeito estufa ao longo das últimas décadas, são as que mais serão prejudicadas com este fenômeno, por terem menos condições de se adaptarem (BRANCO, 2020).

Desde eras pré-históricas é observada uma grande correlação entre os níveis de CO₂ na atmosfera com o aumento da temperatura na superfície terrestre (Figura 3).

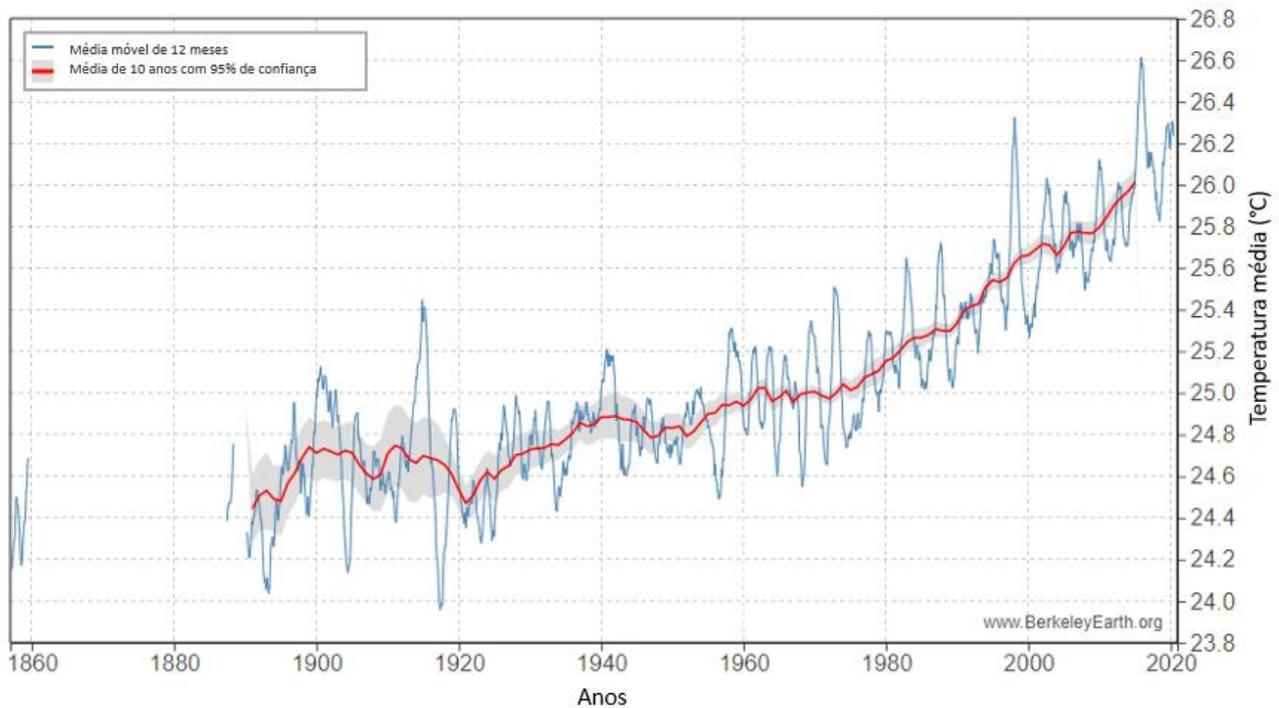
Figura 3 - Correlação entre aumento de temperatura e concentração de CO₂ na atmosfera.



Fonte: Adaptado de NOAA, 2020.

Com o aumento das emissões de gases de efeito estufa, a temperatura média do Brasil cresceu significativamente. Entre os anos 1980 e 2020, como apresentado pela Figura 4, houve temperaturas médias mais altas do que ocorria em períodos anteriores, o que também coincide com o aumento de eventos climáticos extremos.

Figura 4 - Aumento da temperatura média no Brasil.



Fonte: Berkeley Earth, 2022.

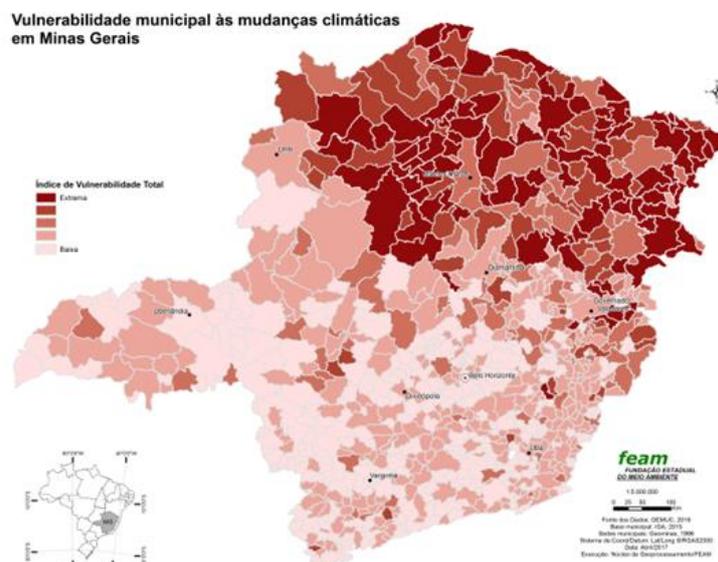
De acordo com uma pesquisa realizada pelo IBGE em 2018, entre 2013 e 2017, 2.706 municípios (48,6%) foram impactados por secas, 1.515 (27,2%) por enxurradas, 1.093 (19,6%) por processos erosivos acelerados e 833 (15%) por deslizamentos. Destacou-se ainda que 59% dos municípios brasileiros não possuíam instrumentos relacionados à prevenção de desastres e somente 14,7% possuíam um plano de contingência e/ ou de prevenção para a seca, o que podem ser boas ferramentas para uma melhor gestão dos riscos climáticos aos quais os municípios estão sujeitos (IBGE, 2018).

O aumento na temperatura também provocou diferentes impactos negativos diretamente e/ou indiretamente para todo o país, prejudicando comércios de produtores locais, safras de exportação e possivelmente gerando desempregos no setor agrícola, base da economia brasileira e responsável por 27,4% do PIB brasileiro em 2021 (ALBERT, 2021). Por isto, o enfrentamento à mudança climática é elemento central para o desenvolvimento do país.

2.2. No estado de Minas Gerais

Analisando-se especificamente o caso de Minas Gerais, tais alterações climáticas também acabam por agravar as condições tanto sociais, quanto ambientais de municípios mais vulneráveis e expostos a eventos extremos. A capacidade de reação de uma região a esses eventos está atrelada justamente às suas desigualdades sociais e econômicas, cuja vulnerabilidade é ilustrada no estado principalmente pela região norte do estado, como mostrado pela Figura 5 (ALVES, 2020).

Figura 5 - Mapa de vulnerabilidade climática por município de Minas Gerais.



Fonte: FEAM, 2017.

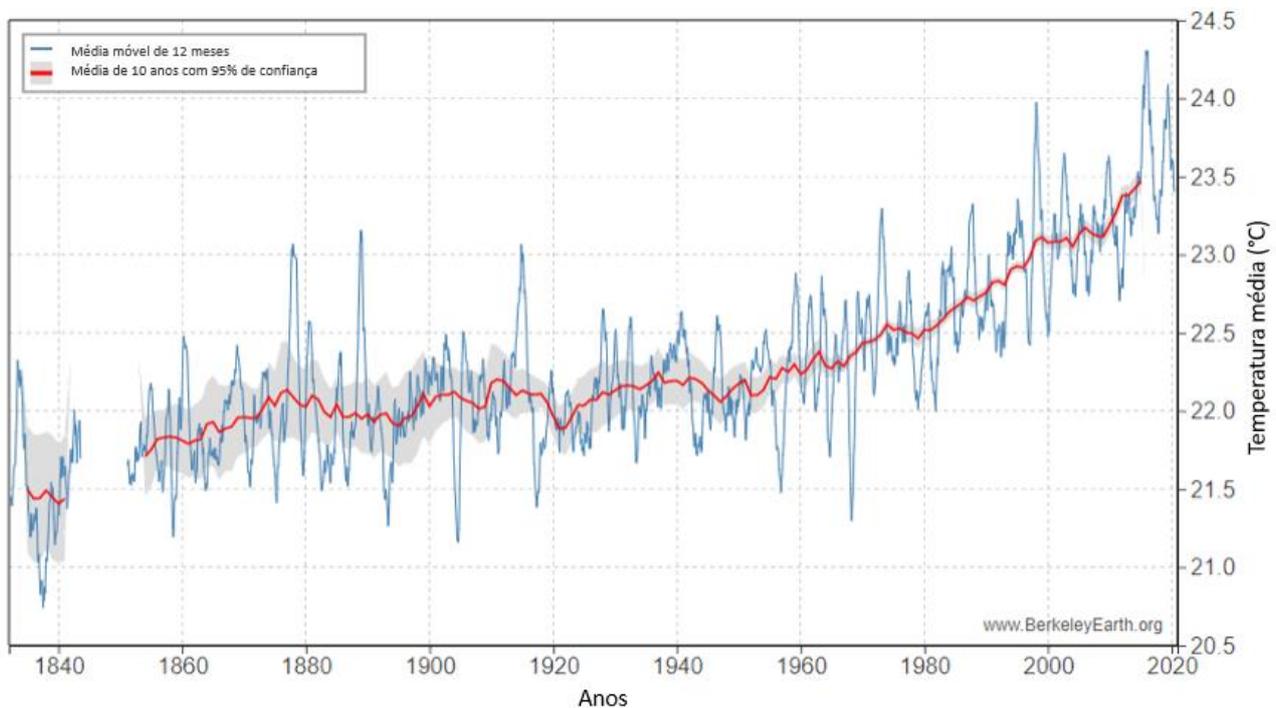
Enquanto nas regiões do norte de Minas são identificados cenários de escassez hídrica, desertificação e calor intenso, demais áreas do estado, como a sua Região Metropolitana, vivenciam fortes chuvas e deslizamentos que obrigam a realização de remoções e impactam diretamente na dinâmica urbana, causando grandes despesas às prefeituras (PBMC, 2013).

Minas Gerais apresenta significativa complexidade climática, isso porque o estado tem, naturalmente, variações e irregularidades em seu relevo, grande extensão territorial, além do crescimento acelerado da urbanização que acompanhou suas características históricas de ocupação.

Uma mudança climática identificada no estado foi o aumento de ocorrência de ondas de calor que podem gerar, além de problemas de saúde à população, incêndios florestais, grandes secas e redução de reservatórios, que culminam no racionamento de água e de energia, pela redução de geração das hidrelétricas. Esse dado é especialmente alarmante quando se considera que a economia do estado é dependente de atividades agrícolas, que podem ser diretamente afetadas pela mudança do clima (LSPA-IBGE, 2022; ÁVILA et al., 2014). Com a citação dos impactos gerados pela mudança do clima já é possível observar como as reações ocorrem em cadeia, impactando diversos setores e até mesmo outros estados (Vasquez-Arroyo et al., 2020).

Assim como visto no cenário nacional, em Minas Gerais também foi identificado o aumento significativo das variações de temperaturas médias anuais, principalmente a partir dos anos 60, como mostrado pela Figura 6 abaixo.

Figura 6 - Aumento da temperatura média em Minas Gerais.



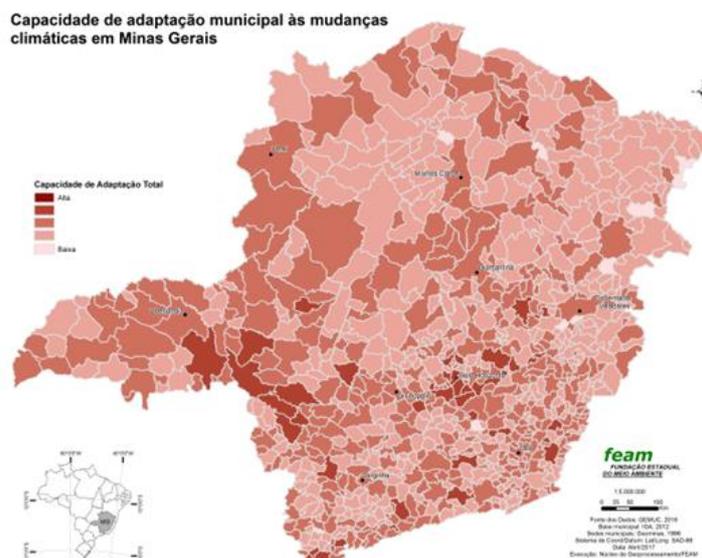
Fonte: Berkeley Earth, 2022.

Esses eventos ressaltam a importância da construção de instrumentos para embasar a consolidação da política climática, propiciando a adaptação aos eventos climáticos extremos. Tais ações podem contribuir não só com a resiliência das cidades em termos de infraestrutura, mas também potencializar a produção de alimentos, o acesso à água e a saúde da população, diminuindo a incidência de doenças, também relacionadas à mudança climática, que resultaria na perda da qualidade de vida da região.

Como apresentado pelo estudo da FEAM em 2017 e pela Figura 7, mesmo com a grande vulnerabilidade climática identificada na parte norte do estado, a maioria dos municípios de Minas Gerais apresentam uma capacidade de adaptação entre alta (42,6%) e moderada (51,1%), porém sendo apenas 5,2% com capacidade muito alta e nenhum com capacidades extremas.

Dessa forma, é identificada uma grande potencialidade de melhoria da qualidade socioambiental estadual, mas ainda sendo necessária a ampla implementação de diretrizes específicas e Planos de Ação voltados para o desenvolvimento sustentável e resiliência dos municípios mineiros.

Figura 7 - Mapa de capacidade de adaptação por município de Minas Gerais.



Fonte: FEAM, 2017.

3. DIRETRIZES DO IPCC

O IPCC foi criado com o objetivo de fornecer relatórios científicos sobre a mudança do clima aos tomadores de decisões, incluindo suas implicações e riscos, bem como as vertentes de mitigação e adaptação (IPCC, 2021).

Em 2006, a convite da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), o painel produziu as Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, atualizando as orientações de boas práticas e as diretrizes que haviam sido produzidas em 1996. Já em 2019, o IPCC realizou um aperfeiçoamento (*Refinement*) das diretrizes de 2006, visando fornecer bases científicas atualizadas para a preparação (e a constante revisão) dos inventários nacionais de GEE. O *2019 Refinement* oferece metodologias para fontes e sumidouros de GEE onde lacunas de dados foram identificadas quando comparadas às diretrizes anteriores.

Adotar bases metodológicas comuns, como a desenvolvida pelo IPCC, garante que os inventários sejam comparáveis entre os países, governos nacionais e governos subnacionais, evitando a dupla contabilização de emissões ou remoções de gases de efeito estufa. O detalhamento do referencial metodológico encontra-se no Anexo deste relatório.

3.1. Setores de emissão de gases de efeito estufa

As estimativas de emissão e remoção de GEE são divididas em setores principais, que são agrupamentos de processos, fontes e sumidouros. Cada setor compreende categorias individuais e subcategorias. Fundamentalmente, os inventários são construídos de acordo com subcategorias, como o IPCC recomenda, e o total de emissões é contabilizado pela soma dessas subcategorias. São quatro setores principais: Energia, Resíduos, Processos Industriais e Uso de Produtos, e Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra, detalhados nos itens a seguir.

3.1.1. Energia

Neste setor estão incluídas emissões antrópicas devido à produção, transformação, distribuição e consumo de diferentes formas de energia. Incluem-se também emissões fugitivas, ou seja, aquelas que ocorrem a partir da emissão intencional ou acidental de gases de efeito estufa durante os

processos de extração, processamento, transformação e distribuição de combustíveis fósseis, como por exemplo: emissões de vazamentos de gás natural e as emissões de metano durante a mineração de carvão e queima durante a extração e refino de óleo. Cabe ressaltar que apenas uma pequena porcentagem das emissões no setor de energia são consideradas emissões fugitivas.

No setor de Energia, as fontes de emissão podem ser segregadas em duas principais categorias: fontes de combustão estacionária e de combustão móvel (transportes).

Nas fontes estacionárias, as emissões são relacionadas ao consumo energético em:

- Indústrias de energia: Exploração e aproveitamento de fontes primárias de energia, conversão de fontes primárias de energia em refinarias e plantas de energia, transmissão, distribuição e perdas de energia elétrica;
- Indústrias de manufatura e construção: produção de ferro, aço, materiais não-ferrosos, papelaria, química, processamento de bebidas e tabaco, etc;
- Setores comerciais, institucionais, residenciais, bem como agricultura, silvicultura e pesca.

Já nas fontes móveis, estão incluídas as emissões provenientes da queima de combustíveis relacionado aos sistemas de transportes de carga e passageiros. Neste setor estão incluídas as emissões de CO₂ e outros GEE atrelados às seguintes atividades dos modais de transporte:

- Rodoviário;
- Ferroviário;
- Hidroviário;
- Aviação¹;
- Outras atividades de transporte.

3.1.2. Resíduos

Neste setor estão incluídas as emissões relacionadas exclusivamente com o tratamento de resíduos sólidos e de efluentes líquidos. São estimadas as emissões de metano (CH₄), óxido

¹ *Bunkers*: emissões de combustível usado na aviação civil e no transporte marítimo internacional. Os combustíveis de “*bunkers*”, tem suas emissões reportadas separadamente para evitar dupla contabilização.

nitroso (N₂O) e CO₂ oriundas de degradação da matéria orgânica e outros compostos nas diferentes rotas de tratamento aplicadas na gestão de resíduos

Os seguintes subsetores são considerados:

- **Disposição final de resíduos sólidos:** inclui emissões pela disposição de resíduos municipais em aterros sanitários, controlados ou lixões;
- **Tratamento biológico:** inclui emissões de GEE pelo tratamento de resíduos orgânicos por meio de rotas biológicas como compostagem e digestão anaeróbica;
- **Incineração e queima a céu aberto:** incorpora emissões pelo tratamento térmico de resíduos de serviços de saúde (RSS) ou pela queima de resíduos sólidos municipais a céu aberto;
- **Tratamento de efluentes líquidos:** inclui emissões pela degradação da matéria orgânica e outros componentes presentes em efluentes que podem ser classificados como:
 - Efluentes líquidos domésticos (esgoto);
 - Efluentes industriais (produção de cerveja; papel e celulose; produção de carne bovina, suína e aves e produção de leite cru e pasteurizado).

3.1.3. Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU)

Neste setor são estimadas as emissões provenientes de processos industriais, do uso de GEE em produtos e de usos não energéticos² de combustíveis fósseis. As principais fontes de emissão estão relacionadas à indústria de transformação (química ou física), por exemplo, indústrias de ferro e aço, cimento, produtos fabricados a partir de combustíveis fósseis. Ademais, o uso de GEE (como os HFCs) em produtos como geladeiras, espumas ou latas de aerossol também são contabilizados. Neste setor estão incluídas as emissões de CO₂ e outros GEE relacionadas às seguintes atividades:

² Destaca-se que muitas atividades industriais se repetem nos setores de Energia e de IPPU. Por isso só são contabilizadas no setor de IPPU as emissões que não estão relacionadas a processos energéticos, de modo a evitar dupla contabilização de emissão entre os setores.

- **Indústria Mineral:** inclui emissões oriundas de processos resultantes da utilização de materiais contendo carbonatos na produção e uso de diferentes produtos na indústria mineral. O principal mecanismo de emissão se refere à calcinação dos componentes de carbonatos relacionados à produção de cimento, cal e vidro;
- **Indústria Química:** inclui emissões da produção de diferentes componentes orgânicos e inorgânicos como amônia, ácido nítrico, ácido adípico, caprolactama glicoxal, ácido glioxílico, carbetto, dióxido de titânio, soda cáustica, indústria petroquímica e fluorquímicos;
- **Indústria de Produção de Metais:** inclui emissões decorrentes da produção de ferro, aço, coque metalúrgico, ferroligas, alumínio, magnésio, zinco e chumbo;
- **Indústria de eletrônicos:** inclui métodos para estimar as emissões de compostos fluorcarbonos (FCs) decorrentes dos processos de produção de semicondutores, painéis fotovoltaicos e outros produtos eletrônicos;
- **Uso não energético de produtos derivados de petróleo:** inclui emissões relacionadas ao uso de lubrificantes, ceras parafínicas, betume/asfalto e solventes;
- **Uso de substitutos de substâncias depletoras da camada de ozônio (ODS):** inclui emissões pelo uso de Hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs) em áreas de aplicação como refrigeração e condicionamento de ar, supressão de fogo e proteção contra explosões, aerossóis, espumas, entre outros.
- **Fabricação e uso de outros produtos:** inclui emissões de hexafluoreto de enxofre (SF6) e PFCs associadas com a manufatura de uso em equipamentos elétricos e outros produtos adicionais.

3.1.4. Agricultura, Floresta e outros Usos da Terra (AFOLU)

Neste setor são contemplados os fluxos de GEE oriundos do uso e manejo de solos que influenciam uma variedade de processos do ecossistema, como a fotossíntese, respiração, decomposição, nitrificação/desnitrificação, fermentação entérica, combustão, etc. Todos esses processos envolvem transformações físicas (combustão, lixiviação e escoamento) e biológicas (atividade de microrganismos, plantas e animais) de carbono e nitrogênio.

De acordo com o IPCC, o setor apresenta características únicas em relação aos métodos de contabilização de emissões, visto que existem muitos processos que podem levar à emissão ou remoção de GEE. Nesse contexto, o inventário busca estimar as emissões relacionadas com atividades antropogênicas, de modo que se considera como sumidouro apenas processos que ocorrem em “terras manejadas”, as quais são definidas pela inventário nacional como as Unidades de Conservação (UC) e Terras Indígenas (TI). As emissões de CO₂, CH₄ e N₂O oriundas das seguintes atividades e fontes de emissão:

- **Agropecuária:** em relação à pecuária, são incluídas emissões por fermentação entérica e pelo manejo de dejetos animais. Já a agricultura inclui emissões associadas ao cultivo de arroz, aplicação de fertilizante e ureia, queima de resíduos agrícolas e calagem, bem como emissões diretas e indiretas de N₂O em solos manejados;
- **Uso e mudanças do uso da terra:** inclui emissões resultantes das variações do estoque de carbono por tipo de categoria de uso do solo e remoções pela manutenção de florestas manejadas e regeneração de vegetação secundária. Além disso, também são incluídas emissões de GEE pela queima de resíduos florestais associados à queimadas.

É importante destacar que solos cultivados sob sistemas de plantio convencional e pastagens degradadas tendem a emitir CO₂ para a atmosfera devido aos processos supracitados, em especial a decomposição da matéria orgânica. Já abordagens como sistema de plantio direto e integrado (lavoura-pecuária-floresta), pastagens bem manejadas e florestas plantadas apresentam o potencial de remover o dióxido de carbono da atmosfera e estocá-lo no solo. De acordo com as diretrizes do IPCC, essas atividades fontes de emissão e remoção ainda não são contabilizadas nos inventários nacionais, porque inclui aspectos de permanência, no qual não se observa uma garantia de que o carbono estocado no solo será novamente emitido em um contexto de mudança no sistema de manejo (IMAFLOA, 2021).

Ressalta-se também que emissões por queimadas em vegetação nativa não associadas ao desmatamento, caracterizadas por áreas que não foram posteriormente desmatadas, não são contabilizadas no inventário nacional (IPAM, 2021).

3.2. Aspectos transversais

Para a realização do Inventário de GEE é necessário definir os limites do sistema analisado. Este passo inclui a delimitação da fronteira geográfica, identificação de atividades, fontes de emissão, área geográfica e o intervalo de tempo coberto. O inventário contém estimativas para cada ano civil da série temporal inventariada, divididos em períodos contínuos de 12 (doze) meses, contabilizando as emissões e remoções de GEE na atmosfera.

As fronteiras do Inventário são projetadas para fornecer uma compreensão abrangente das principais fontes de emissões do Estado de Minas Gerais. Na falta de dados adequados para seguir esse princípio, as emissões/remoções podem ser estimadas a partir de métodos estatísticos como a média, interpolação e extrapolação, desde que bem fundamentado e justificado sendo o mais consistente quanto possível para garantir o rastreamento de tendências ao longo do tempo.

3.3. Gases de efeito estufa

De acordo com as diretrizes do IPCC, o inventário deve contemplar os referidos GEE: dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄), os gases fluorados (F-gases): hexafluoreto de enxofre (SF₆), hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorocarbonos (PFCs).

Cada GEE possui um Potencial de Aquecimento Global, ou GWP, na sigla em inglês, associado, que é a medida do quanto cada gás contribui para o aquecimento global. O GWP é um valor relativo que compara o potencial de aquecimento de uma determinada quantidade de gás com a mesma quantidade de CO₂ que, por padronização, tem GWP com valor igual a 1. O GWP é sempre expresso em termos de equivalência de CO₂ (CO₂e).

Para o inventário de Minas Gerais, foram considerados os potenciais de aquecimento global do Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (Fifth Assessment Report ou AR5). Os valores de GWP são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Potencial de Aquecimento Global (GWP) dos Gases de Efeito Estufa.

Gás de Efeito Estufa (GEE)	GWP
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	28
Óxido Nitroso (N ₂ O)	265
Hexafluoreto de Enxofre (SF ₆)	23.500
HFCs	138 - 12.400
PFCs	6.630 - 11.100

Fonte: IPCC AR5, 2013.

O Inventário de GEE de Minas Gerais considerou as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O, de acordo com as fontes de emissão mapeadas e a disponibilidade de dados. Adicionalmente, o inventário também computou as remoções de CO₂.

3.4. Método de cálculos simplificado

O inventário de GEE do estado de Minas Gerais foi elaborado seguindo as normas metodológicas do IPCC. A escolha do método de cálculo apropriado decorreu da disponibilidade de dados e de fatores de emissão específicos, das tecnologias utilizadas no processo, entre outros. Na seleção dos fatores de emissão, buscaram-se os mais específicos trazendo sempre que possível a melhor representação da realidade local. Na ausência de fatores de emissão específicos, foram utilizados os fatores *default* do IPCC, que também possuem um alto nível de acurácia.

De forma simplificada e generalista, pode-se expressar como as emissões e remoções são calculadas segundo a fórmula a seguir:

$$E_{i,g,y} = DA_{i,y} \times FE_{i,g,y} \times GWP_g$$

Onde:

i: Índice que denota uma atividade da fonte ou sumidouro individual;

g : Índice que denota um tipo de GEE;

y : Ano de referência do relatório;

$E_{i,g,y}$: Emissões ou remoções de GEE atribuíveis à fonte ou sumidouro durante o ano, em tCO₂;

$DA_{i,y}$: Dado de atividade consolidado referente à fonte ou sumidouro para o ano;

$FE_{i,g,y}$: Fator de emissão ou remoção do GEE aplicável à fonte ou sumidouro para o ano, em t GEE/unidade do dados de atividade;

GWP_g : Potencial de aquecimento global do GEE, em tCO₂e/tGEE.

O detalhamento sobre os métodos de cálculo para cada tipo de fonte de emissão pode ser encontrado no Anexo A e os fatores de emissão utilizados nos cálculos são apresentados no Anexo B.

4. CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

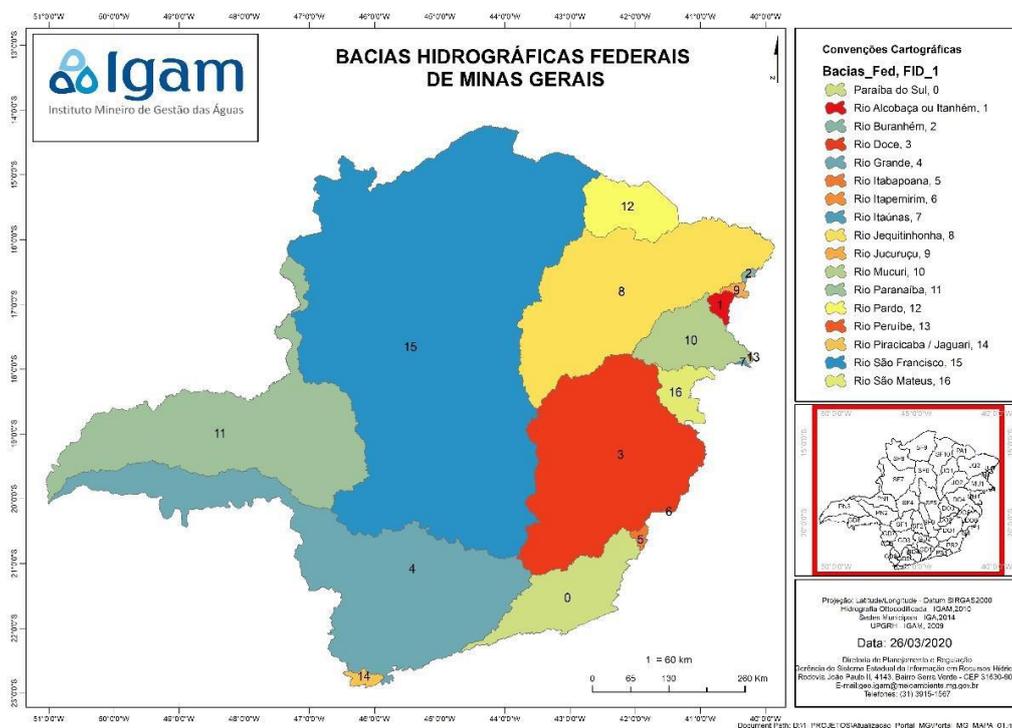
O Estado localiza-se na região sudeste do Brasil, possuindo uma população estimada no ano de 2021 de 21.411.923 habitantes, uma área de aproximadamente 586.513,983 km² e apresentando densidade demográfica estimada em 2021 de 36,5 hab/km². Trata-se do quarto maior estado em extensão territorial do Brasil e o segundo mais populoso (IBGE, 2021a).

A localização geográfica de Minas Gerais é estratégica, possuindo fronteira com diversos estados, como São Paulo, Rio de Janeiro e Bahia, constituindo-se como uma das principais áreas de ligação entre diversas regiões do Brasil, sendo, portanto, um território de passagem para grande parte do fluxo de transporte de cargas e passageiros.

O clima tropical do estado apresenta algumas variações, sendo elas: o tropical semiárido, no extremo Norte; o tropical semiúmido, no Centro-Sul; e o tropical de altitude, nas regiões mais elevadas. Ainda assim, o clima mineiro é considerado úmido, com precipitações acumuladas superiores a 1.200 mm anuais, porém, sendo elas, mais concentradas na porção sul e oeste do estado, sendo a região norte com a menor pluviometria (CPTEC/INPE, 2022). Além disso, a região norte e leste são as que apresentam as maiores temperaturas, em contraponto com as áreas mais elevadas, que apresentam as menores, principalmente no inverno. De forma geral, as temperaturas médias anuais do estado são superiores a 18°C (Governo de Minas, 2022).

Minas Gerais, possui uma extensa rede hidrográfica, estando, em seus leitos, muitas concentrações urbanas iniciadas com a exploração do ouro no estado durante o período colonial. O seu território é composto por diversas bacias, dentre elas estão as bacias dos rios São Francisco, Jequitinhonha, Doce, Grande e Mucuri (Figura 8).

Figura 8 - Bacias hidrográficas de Minas Gerais.



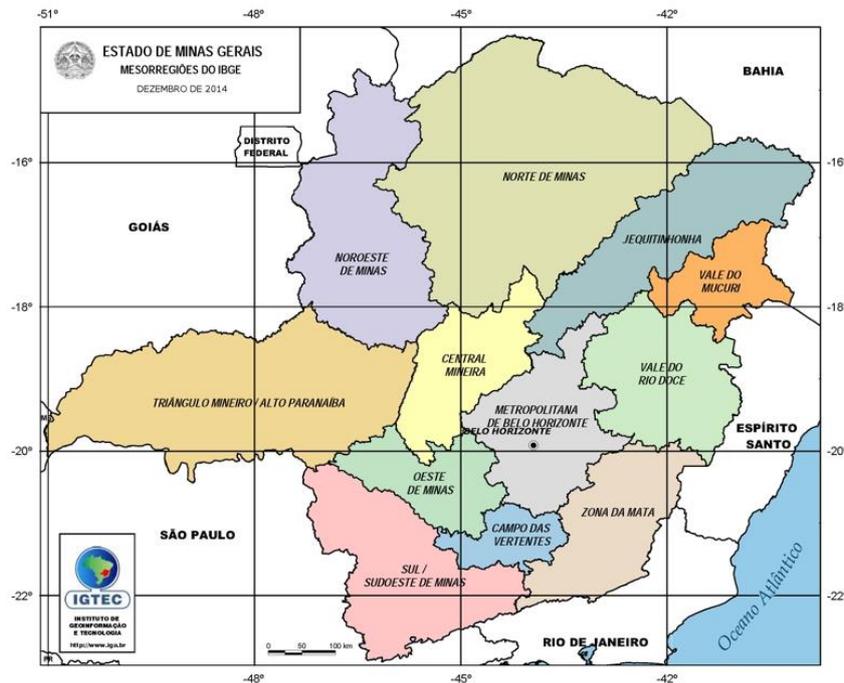
Derivada da exploração de ouro e pedras preciosas, a influência da mineração na economia estadual retardou o desenvolvimento de outras atividades econômicas na região. Os avanços na economia de Minas Gerais foram acelerados com o advento da produção e exportação de café. A partir dos anos 1970, iniciou-se um processo de diversificação da estrutura industrial mineira, consolidando novos setores e ampliando a inserção nacional e internacional da economia mineira (Minas Gerais, 2021a).

O estado possui a maior malha rodoviária do Brasil, concentrando 16% de toda a malha viária existente no país, e, também, a maior rede ferroviária de transporte de cargas, correspondendo a 16% da extensão da malha ferroviária total (Minas Gerais, 2014).

O estado de Minas Gerais é composto por treze Regiões Geográficas Intermediárias (RGI), estabelecidas em função da rede urbana e das atividades econômicas desenvolvidas no estado. São elas: Barbacena, Belo Horizonte, Divinópolis, Governador Valadares, Ipatinga, Juiz de Fora, Montes Claros, Patos de Minas, Pouso Alegre, Teófilo Otoni, Uberaba, Uberlândia e Varginha.

Além das RGI, o estado possui 12 mesorregiões: Noroeste de Minas, Norte de Minas, Jequitinhonha, Vale do Mucuri, Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, Central Mineira, Metropolitana de Belo Horizonte, Vale do Rio Doce, Oeste de Minas, Sul e Sudoeste de Minas, Campos das Vertentes e Zona da Mata (Figura 9).

Figura 9 - Mapa de mesorregiões de Minas Gerais.



Fonte: IGTEC, 2014.

O estado apresentou em 2021, um Produto Interno Bruto (PIB) de aproximadamente R\$ 805,5 bilhões, sendo considerado a terceira maior economia do Brasil, responsável por cerca de 9,3% de todas as riquezas produzidas pelo país no mesmo ano. A RGI de Belo Horizonte, onde se encontra a maior parte da região metropolitana da capital, é a mais populosa e próspera do estado, com mais de 40% do PIB de Minas Gerais, enquanto regiões como as de Montes Claros e Teófilo Otoni não chegam a 5% da produção estadual, sendo bastante desigual a distribuição dessas riquezas (Agência Minas, 2022 e IBGE, 2021a).

As principais atividades econômicas desenvolvidas em Minas Gerais são: serviços (administração pública) (57,9%), indústrias (transformação e mineração) (33,6%), agropecuária, agroindústria e pecuária (café, soja, cana-de-açúcar e produção de leite) (8,5%). O setor de serviços é o que mais emprega no estado, seguido da agricultura/pecuária/agroindústria, indústria e comércio e consertos (FEAM, 2014).

Grande parte das produções são voltadas para exportação, principalmente os produtos do agronegócio, representando 27,5% das exportações do estado no ano de 2021 (Minas Gerais,

2021b), e da indústria, especialmente a de extração de minerais metálicos, que em 2020 representavam 12,8% de todas as empresas que atuavam no setor industrial do país (Portal da Indústria, 2022). O estado também apresenta uma importante economia advinda da silvicultura, principalmente com o plantio de pinus e eucalipto, representando 21,5% das florestas plantadas no Brasil (Minas Gerais, 2021b).

Minas Gerais apresentou em 2010 um IDH igual a 0,731. Para esse cálculo, são considerados aspectos como a expectativa de vida da população e sua taxa de mortalidade, os investimentos públicos em saúde e o nível de desigualdades socioeconômicas, sendo que, quanto mais próximo de 1, melhor a qualidade de vida do estado e seu potencial para o desenvolvimento humano. Já o índice de GINI identificado para o estado foi de 0,46 em 2021, representando os níveis de desigualdade de renda, sendo que quanto mais próximo de 1, maiores são as concentrações de renda (IBGE, 2021a).

Cerca de 85% da população do estado se encontra no meio urbano (IBGE, 2021a). O estado vem realizando diversos projetos em prol do desenvolvimento urbano sustentável, se sobressaindo nacional e internacionalmente. Em 2006, Minas Gerais participou da II Conferência Internacional sobre Compras Verdes, realizada em Barcelona, na Espanha, onde foram apresentadas as práticas mundiais mais avançadas sobre compras públicas sustentáveis. No mesmo ano, o estado participou do projeto-piloto denominado “Fomentando as Compras Públicas Sustentáveis no Brasil” que teve dentre seus objetivos canalizar toda capacidade de conhecimentos para promover as compras públicas sustentáveis.

Em junho de 2021, o Governo do Estado de Minas Gerais aderiu oficialmente à campanha *Race to Zero*, agenda global que tem a meta de zerar as emissões líquidas de gases de efeito estufa até 2050. Este comprometimento criou oportunidades para captação de recursos, investimentos e cooperação técnica e financeira, além da projeção internacional da cidade.

Cabe destacar que Minas Gerais foi o primeiro estado da América Latina a aderir à campanha *Race to Zero*, demonstrando o seu protagonismo para com a agenda climática. No mesmo ano, o estado também assinou uma carta compromisso com a Aliança pela Ação Climática – ACA Brasil, iniciativa

que busca adotar medidas para aumentar o apoio público no enfrentamento à crise climática, o que contribui para que os países cumpram com os compromissos firmados em suas NDCs, e consequentemente os objetivos traçados no Acordo de Paris. A ACA Brasil é coordenada pelo ICLEI América do Sul, o Instituto Clima e Sociedade, o CDP Latin America e o Centro Brasil no Clima.

A definição dos limites do inventário de emissões e remoções de GEE para o estado de Minas Gerais foi a primeira etapa de execução da atividade, a partir da qual foi estabelecida a cobertura geográfica e temporal, bem como foram identificadas as principais atividades fontes de emissão contempladas pelo inventário. O presente documento apresenta as emissões dos anos 2015, 2016, 2017, 2018 e 2019 relacionadas com atividades que observadas dentro dos limites físicos do estado de Minas Gerais, levando em consideração o clima e biomas presentes no estado. Essas informações estão detalhadas na Tabela 1

Cabe evidenciar a decisão da não incluir o ano de 2020 no limite temporal do atual inventário de emissões, visto que foi identificada uma baixa disponibilidade de dados, com alto índice de heterogeneidade e baixa completude. De modo que a inclusão deste ano agregaria um nível alto de incertezas no resultado obtido para o estado, reduzindo sua representação da realidade local. Além disso, ressalta-se também que 2020 representaria um ano atípico para o estado, devido ao contexto da pandemia COVID-19, que impactou fortemente as relações sociais, econômicas e ambientais. Globalmente, foi observada uma observada uma intensa redução nas emissões de GEE, no entanto, esse comportamento foi qualificado como temporário (QUERÉ et al.,2020) .

Tabela 2 - Caracterização da região e limites do inventário.

Limites do inventário	Informações
Estado	Minas Gerais
Grande Região	Sudeste
País	Brasil
Ano-base do inventário	2015, 2016, 2017, 2018 e 2019
Ano de realização do inventário	2022
Limites geográficos	São Paulo ao sul, Rio de Janeiro ao sudeste e Espírito Santo ao leste, Mato Grosso do Sul a oeste, Goiás e Distrito Federal à noroeste e Bahia ao norte
Número de municípios	853
Área (km ²)	586.514 km ²
População (2021)	21.411.923 habitantes
PIB (2019)	R\$ 651.872.684
Clima	Tropical com subcategorias (tropical de altitude, tropical semi-úmido) e semi-árido nas porções norte do estado
Biomass	Cerrado Mata Atlântica Caatinga

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE, 2021a e IEF, 2020.

4.1. Caracterizações por setor de emissão

O processo de elaboração do inventário de GEE contou com a participação ativa de representantes do estado com apoio técnico do ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade. Foram avaliadas as atividades fontes de emissão com o objetivo de compreender o contexto estadual e mapear informações relevantes. Os resultados da caracterização do estado para cada um dos setores do IPCC estão descritos nos tópicos a seguir.

4.1.1. Energia

4.1.1.1. Energia Estacionária

Em 2017, Minas Gerais alcançou uma demanda energética total de 35,7 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep), o que representou 12,2% da demanda total de energia nacional. Entre os anos de 1978 e 2017, foi observado um aumento dessa demanda em cerca de 2,1% anuais, percentual que se encontra muito próximo dos níveis nacionais de variação para o mesmo período (2,7%) (MELO, 2020).

Correspondendo a 36,4% em 2017, o petróleo e seus derivados e o gás natural apresentaram a maior participação na demanda total de energia do Estado. Para esse ano, as demais contribuições observadas foram de lenha e derivados (18,2%), seguida pela cana e derivados (17,3%) e da energia hidráulica (14,9%) (MELO, 2020).

De acordo com uma análise da matriz energética de Minas Gerais, realizada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 2022, o estado possui uma relativa diversificação em termos de fornecimento de energia, onde hidrelétricas representam cerca de 80% da geração e a biomassa correspondendo por 10%. Em terceiro lugar, observa-se a contribuição de fontes fósseis e, em quarto lugar, a geração de energia a partir de fontes fotovoltaicas (ANEEL, 2022).

Apesar de ainda não ser a fonte energética predominante no estado, Minas Gerais é referência nacional em geração centralizada e distribuída de energia solar, tendo atingido a marca histórica de 2 GW operados em novembro de 2021 (ANEEL, 2022).

Observando os setores produtivos, em 2019, a maior demanda de energia do Estado advém do Setor Industrial, com 60%. Para esse setor, a geração energética proveniente de lenha e derivados representou 27,3% da demanda total, seguida de derivados de cana-de-açúcar (21,7%); petróleo, derivados e gás natural (19,6%); carvão mineral e derivados (16,2%); energia hidráulica (11,9%). Percebe-se que lenha e carvão mineral totalizaram 43,5% da demanda total do setor industrial do Estado (CEMIG, 2019).

4.1.1.2. Transportes

Em relação à transportes, observou-se um aumento de 18,7%, entre 2015 e 2019, da frota veicular do estado de Minas Gerais, sendo grande parte desses veículos automóveis (55,2%) e motocicletas (22,2%) (Brasil, 2022).

Em relação às ferrovias, Minas Gerais apresenta a maior rede ferroviária para o transporte de cargas entre os estados brasileiros. Segundo o Plano Estratégico Ferroviário de Minas Gerais, a rede ferroviária para o transporte de cargas possui uma extensão de 4.909 quilômetros lineares, o que corresponde a 16% da extensão das ferrovias. Em 2018, a rede de ferrovias transportou cerca de 276,3 milhões de toneladas úteis de cargas, equivalentes a 48,5% do volume total movimentado no País pelo modal ferroviário (Minas Gerais, 2021c).

O transporte de pessoas pela rede ferroviária corresponde a pouco menos de 1% do volume total movimentado por ano, sendo composto estritamente pelo serviço de trens regionais de passageiros da Estrada de Ferro Vitória-Belo Horizonte e de Itabira-Nova Era, e de trens turísticos em cidades históricas (Minas Gerais, 2021c).

Dentre os aeroportos do estado de Minas Gerais, destacam-se o Aeroporto Internacional de Confins, situado a 40 km da capital mineira, e o Aeroporto Carlos Drummond de Andrade (SSBH), conhecido como Aeroporto da Pampulha, em Belo Horizonte.

De acordo com o Anuário Estatístico de Tráfego Aéreo, o Aeroporto Internacional de Confins registrou crescimento de 0,4% em 2017, 1,5% em 2018 e 0,2% em 2019, ocupando o 7º lugar no *Ranking* de Aeródromos. Em 2019, o total de movimentos do aeroporto correspondeu a 102.349

voos, sendo que a aviação com maior representatividade é a comercial, com 97,9% do total de movimentos, seguido da aviação geral (1,9%) e da militar (0,2%). Localizado a 9 km do centro da cidade, o Aeroporto da Pampulha é um dos principais polos da aviação geral, atualmente com 85% de participação. Em 2018 e 2019, o total de movimentos correspondeu a 43.634 e 43.115 voos, respectivamente. Em relação a 2017, houve uma queda de movimento, devido principalmente à aviação comercial (Brasil, 2020a).

Em 2019, o Aeroporto de Uberlândia apresentou 24.060 pousos e decolagens, seguido pelo Aeroporto de Carlos Prates com 20.313 pousos. Os aeroportos de Montes Claros e Uberaba apresentaram 7.612 e 5.897 pousos e decolagens, respectivamente. Grande parte desses voos são domésticos, sendo que o número de voos internacionais nesses aeroportos corresponde a menos de 0,15% do total de voos (Infraero, 2022).

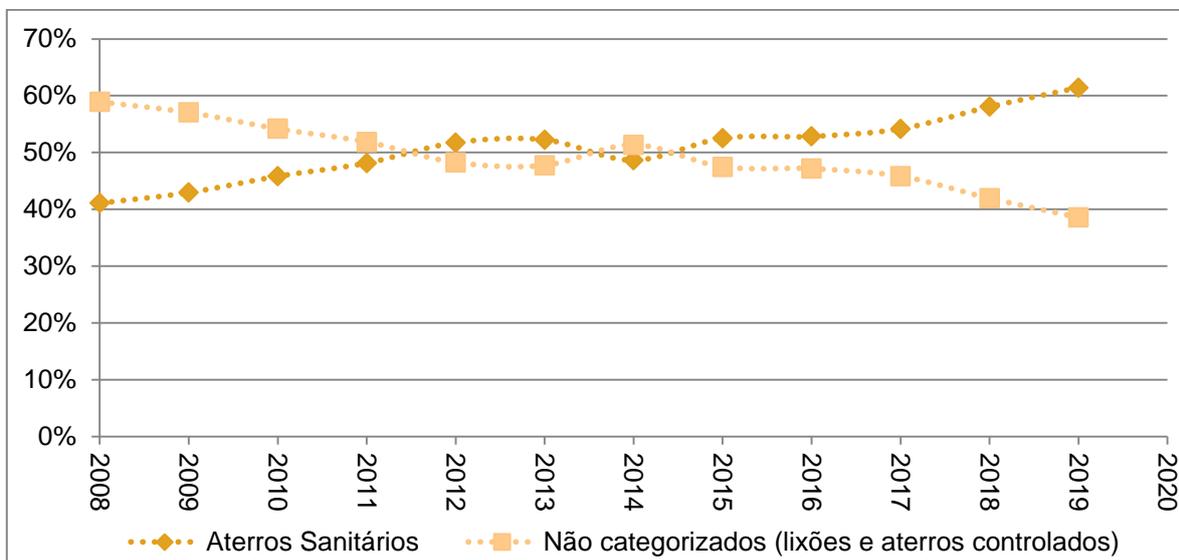
4.1.2 Resíduos

4.1.2.1. Resíduos sólidos

Em âmbito estadual, Minas Gerais apresenta, desde 2009, uma Política Estadual de Resíduos Sólidos, reconhecida como Lei nº 18.031, que apresenta diretriz e orientações para uma gestão sustentável de resíduos, priorizando a não geração e a valorização dos materiais gerados.

Destaca-se que o estado, juntamente com os municípios e consórcios públicos que compõem a região, está se direcionando para o cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal nº 12.305/2010), visando o encerramento dos lixões. O Gráfico 1 apresenta a evolução da disposição final do estado entre os anos de 2008 e 2019. Observa-se que no início do período analisado, cerca de 59%, dos resíduos coletados eram dispostos de forma ambientalmente inadequada, atingindo o patamar de 39% em 2019.

Gráfico 1 - Evolução da disposição final de resíduos sólidos no estado de Minas Gerais entre os anos de 2008 a 2019.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados fornecidos pela FEAM.

Em 2019, o estado possuía 360 lixões (Minas Gerais, 2020) e ao final de 2021 o estado contava com 308 empreendimentos deste tipo (Minas Gerais, 2021d). Os maiores municípios mineiros que ainda operam lixões/aterros controlados são Divinópolis (230.848 habitantes), Poços de Caldas (163.677 habitantes), Teófilo Otoni (141.046 habitantes), Passos (113.122 habitantes) e Nova Serrana (89.859 habitantes) - populações conforme último censo realizado pelo IBGE em 2010 (IBGE, 2022).

Associada à diminuição da destinação de resíduos para lixões, houve um aumento no número de municípios que destinam seus resíduos para aterros sanitários. Ao final de 2021 existiam 423 aterros sanitários regularizados em Minas Gerais, sendo que 50 deles apresentavam também unidades de triagem e compostagem (UTC) (Minas Gerais, 2021d). Em 2019, operavam UTCs em 146 municípios no estado (Minas Gerais, 2020), entretanto, em 2021, esse reduziu para 139 municípios (Minas Gerais, 2021d).

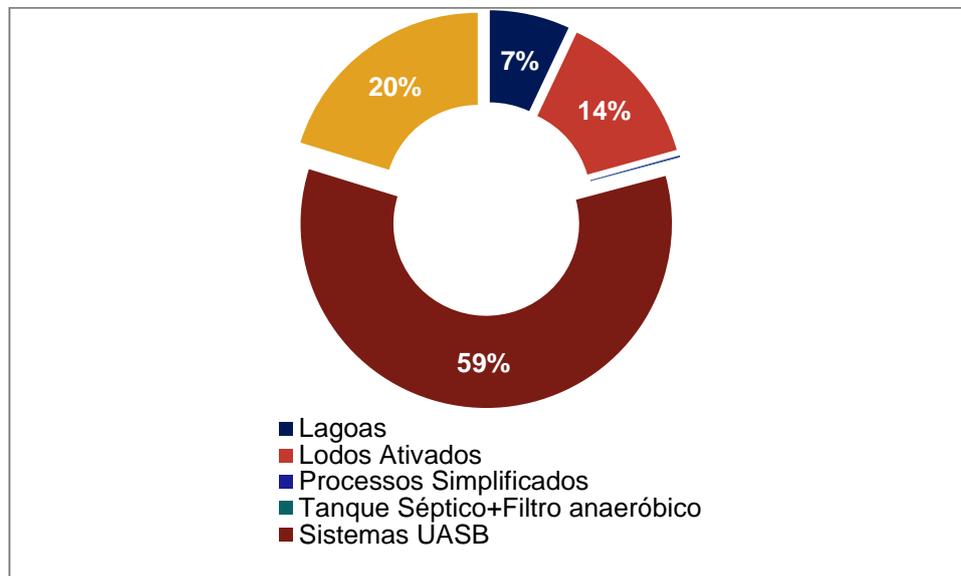
4.1.2.2. Efluentes Líquidos

Atualmente o estado está desenvolvendo o Plano Estadual de Saneamento Básicos de Minas Gerais (PESB) com o objetivo de se adequar à Lei Federal nº 11.445/2007 e a sua mais recente atualização, a Lei nº 14.026/2020, que em linhas gerais buscar a universalização do acesso aos serviços de saneamento até 2033.

Em relação aos indicadores atuais de acesso aos serviços de saneamento, em 2019 o estado apresentava uma taxa de coleta de cerca de 80% em relação à população, com um crescimento modesto de 3% em relação ao ano de 2015. Em 2021, o percentual da população urbana atendida por coleta de esgotos foi de aproximadamente 87% e por tratamento cerca de 53%.

As principais tecnologias de tratamento mais adotadas no território são os reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB) e lodo ativado (SEMAD, 2021a), conforme pode ser observado no Gráfico 2. Destaca-se que o estado de Minas Gerais busca promover a gestão estratégica da implantação de sistemas de tratamento de esgotos no território mineiro desde 2006, por meio do programa Minas Trata Esgoto.

Gráfico 2 - Principais rotas de tratamento de efluentes líquidos observadas no estado de Minas Gerais, 2015-2019.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados fornecidos pela FEAM.

O Índice de Avaliação do Sistema de Esgotamento Sanitário Municipal (IESMS) demonstra que a maioria dos municípios mineiros está em situação alarmante. A maior parte da população atendida por tratamento encontra-se em municípios acima de 150.000 habitantes, ou seja, o tratamento está concentrado em poucas regiões do estado, sendo um grande desafio a implantação de tratamento de esgoto em municípios abaixo de 20.000 mil habitantes, que representam cerca de 80% dos municípios mineiros (SEMAD, 2021a).

Os subprodutos sólidos e gasosos, gerados durante o tratamento da maioria das Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) em Minas Gerais, possuem como destinação final os aterros sanitários e/ou a queima para lançamento na atmosfera (SEMAD, 2021a).

Em relação aos efluentes industriais, se destacam como os setores mais representativos da economia mineira, dentre os estabelecidos no inventário nacional: produção de leite cru e pasteurizado, cerveja, carnes (bovinas, aves e suínas) e celulose. Minas Gerais se destaca como um dos maiores produtores de leite cru do Brasil, bem como de papel e celulose. Em 2020, o estado ocupou o 1º lugar no *Ranking* Nacional de produção de leite cru (IBGE, 2020).

4.1.3. Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU)

O setor industrial tem grande importância na economia de Minas Gerais. Em 2019, o Produto Interno Bruto (PIB) industrial do estado foi de R\$154,8 bilhões, representando 27,1% do PIB estadual e 11,2% da indústria nacional. A indústria é dividida em 28 setores e a extração de minerais metálicos está entre os mais representativos, tendo sido o que mais ganhou participação na indústria do estado entre 2009 e 2019, com 10,2 pontos percentuais (Portal da Indústria, 2022).

O estado de Minas Gerais é o maior produtor de cimento do Brasil, responsável por 26,5% da produção nacional, em 2019. O estado abriga 8 dos 24 grupos cimenteiros atuantes no país, e conta com 15 plantas de produção (SNIC, 2019).

Em relação à produção de cal, destaca-se que em 2014, o estado foi responsável por 64% da produção total de cal para o mercado aberto (não cativo) (EBC, 2014). Em Minas Gerais são encontradas algumas das principais indústrias produtoras de cal do país, com capacidade de produção acima de 5Mt, segundo dados de 2012 (MME, 2021).

O subsetor da indústria química tem uma participação de 3,5% do setor no PIB industrial do estado (Portal da Indústria, 2022). A cadeia produtiva é considerada um elo fraco da indústria de transformação estadual, apresentando um percentual reduzido. Segundo comunicados da Associação Brasileira da Indústria Química à FEAM, Minas Gerais possui apenas uma empresa atuante, sendo a amônia a única substância produzida, com capacidade instalada de 5.400 toneladas por ano.

O setor mineiro-metalúrgico é destaque no estado de Minas Gerais, compreendendo os segmentos de mineração, siderurgia (independentes e integradas), metais não-ferrosos, fundição e fabricação de produtos siderúrgicos. A maioria das empresas atuantes no segmento de siderurgia, no Brasil, estão localizadas no território mineiro devido a ocupação histórica e o desenvolvimento do estado neste setor (Portal da Indústria, 2022).

Destaca-se que não foram obtidas informações sobre a produção de outros tipos de atividades industriais que possam contribuir para emissão de GEE no setor, bem como dados sobre a produção e consumo HFCs no estado.

4.1.4. Agricultura, Floresta e Outros Usos do Solo (AFOLU)

4.1.4.1. Agropecuária

Minas Gerais é reconhecida nacional e internacionalmente como grande produtora de alimentos, fibras e bioenergia, ocupando posição de destaque em várias atividades. Os produtos que se destacam no agronegócio mineiro são: café, cana-de-açúcar, grãos (algodão, feijão, milho, soja, sorgo e trigo), fruticultura (abacate, abacaxi, banana, laranja, limão e manga), olerícolas (alho, cebola, batata, tomate e mandioca), pecuária (bovino, suíno, galináceos, equinos e tilápia), produtos de origem animal (leite, mel, ovos de galinha e ovos de codorna) e silvicultura (pinus, eucalipto e seus subprodutos) (Minas Gerais, 2021b).

Segundo o panorama do comércio exterior do Agronegócio de Minas Gerais, publicação editada anualmente pela Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Minas Gerais ocupou, em 2018, o 5º lugar das vendas do agronegócio no Brasil, representando 8,6% das vendas do país. Em relação às entradas, o estado ocupou o 5º lugar das importações do agronegócio, com 4,6% das compras brasileiras (Minas Gerais, 2019).

A respeito da cana-de-açúcar, a produção alcançou volume recorde de 70,6 milhões de toneladas na safra 2020/2021, com crescimento de 2,7% na comparação com a safra 2019/2020. A área colhida alcançou 854,2 mil hectares, com aumento de 4,1%. Dessa forma, Minas Gerais é considerado o 3º maior produtor nacional de cana-de-açúcar, respondendo por 11,4% da produção brasileira (Minas Gerais, 2021b).

Destaca-se também que o estado ocupa o 6º lugar no *Ranking* Nacional, responsável por 6% do volume total de produção de grãos no Brasil, com milho e soja representando 90% da produção total de grãos do estado, com volume de 15,4 milhões de toneladas, 5,8% superior à safra passada. (Minas Gerais, 2021b).

Em termos de pecuária, Minas Gerais apresenta o 3º maior rebanho bovino do Brasil e como o maior produtor de leite, com participação de 27,1% na produção nacional. O estado possui 9,7% do efetivo de suínos do país em 2021 que corresponde a 2,03 % do total de exportações. (Minas Gerais, 2021b).

Por fim, Minas Gerais seguiu registrando a maior área coberta com espécies florestais plantadas do país, superior aos 2 milhões de hectares, apresentando crescimento de 0,8% em relação ao ano anterior. O pinus e eucalipto são as espécies mais utilizadas, sendo o eucalipto a predominante (Minas Gerais, 2021).

4.1.4.2. Uso da terra, mudança de uso da terra e florestas.

Segundo o Mapa de Biomas do Brasil, o cerrado ocupa cerca de 54% da extensão territorial do estado, localizado em sua porção centro-ocidental. A mata atlântica, na porção oriental, ocupa cerca de 40% da área do estado, e a caatinga ocupa 6% do território, se concentrando no norte do estado (IEF, 2020).

De modo geral, a paisagem transita para o cerrado ao sul e a oeste, para a região dos campos rupestres ao centro e para a floresta atlântica a leste, exibindo fases de transição de difícil caracterização, ou como manchas inclusas em outras formas de vegetação. O cerrado compõe as bacias dos Rios São Francisco e Jequitinhonha; já a mata atlântica é composta por uma vegetação densa e permanentemente verde, havendo um grande índice pluviométrico nessas regiões; e, por fim, a caatinga é considerada um bioma único no mundo, sendo berço de diversas espécies endêmicas, vegetais e animais. (IEF, 2022).

Segundo o Mapa da Flora Nativa e dos Reflorestamentos de Minas Gerais - estudo elaborado pelo Instituto Estadual de Florestas (IEF) em parceria com a Universidade Federal de Lavras em 2009, com dados atualizados em 2019 - cerca de 32,9% do território mineiro é composto de áreas de remanescentes de mata nativa, sendo 22,3% de cerrado, 9,5% de mata atlântica e 1,1% de caatinga (IEF, 2020).

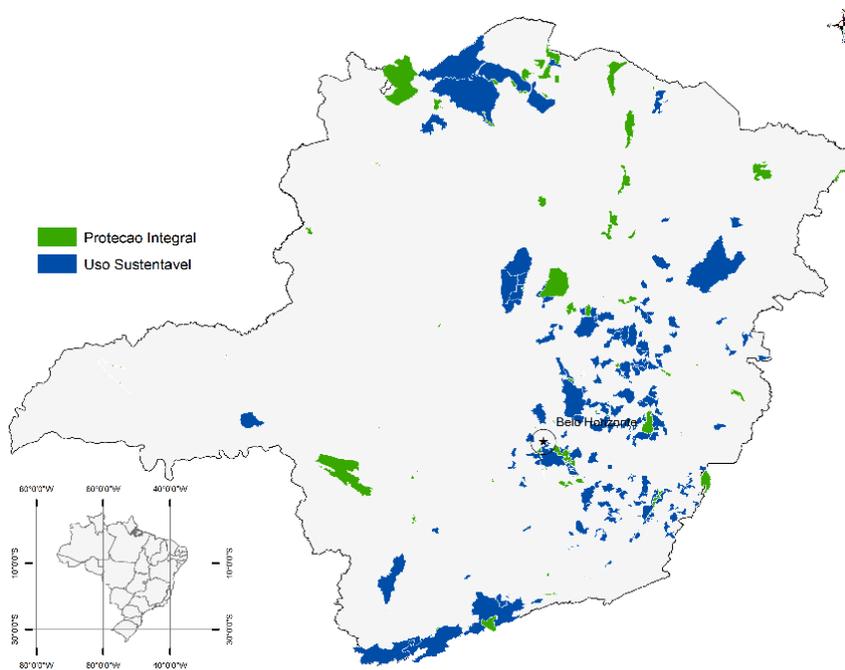
Segundo pesquisa do Embrapa Territorial, em 2021, Minas Gerais é o estado que tem maior contingente de imóveis rurais inscritos no Cadastro Ambiental Rural (CAR) (14,6%), apresentando 35% desse território, com o equivalente de 15.615.841 ha, destinado a áreas de preservação da vegetação nativa posicionando na 4ª posição entre os estados com maior área destinada a preservação nativa no Brasil (CAR,2021).

Em relação ao desmatamento, em 2015 foi registrado a supressão de cerca de 21 mil hectares de florestas primárias, com uma pequena elevação no ano de 2016. Já nos anos de 2017 e 2018 foi observado o desmatamento de 27 e 13 mil hectares, respectivamente. Por fim, no ano de 2019 atingiu o patamar de 11 mil hectares suprimidos. É importante ressaltar que essa atividade é principalmente observada no cerrado, que contribuiu em média com 60% no índice de desmatamento, seguido por 31% de contribuição referente à atividade na mata atlântica e apenas 9% da caatinga.

A Lei 9.985/2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), define unidade de conservação como “o espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituídos pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção.”

O SNUC define dois grupos de Unidades de Conservação (UC): Unidades de Proteção Integral, com objetivo de preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos recursos naturais, e Unidades de Uso Sustentável, cujo objetivo é compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela de seus recursos naturais (Figura 10).

Figura 10 - Unidade de uso sustentável e proteção integral em Minas Gerais



Fonte: SISEMA, 2021.

Em Minas Gerais há uma regulamentação específica, a Lei Estadual nº 20.922/2013, que dispõe sobre as políticas florestais e de proteção à biodiversidade, e estabelece diretrizes específicas no âmbito do estado de Minas Gerais.

Nas UC de proteção integral, não são permitidos a coleta e o uso dos recursos naturais, salvo se compatíveis com as categorias de manejo das unidades, sendo que estas são divididas nas seguintes categorias: Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Estadual, Monumento Natural e Refúgio de Vida Silvestre (ICMBio, 2022).

Já nas unidades de uso sustentável, que tem como objetivo básico compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais são desagregadas nas seguintes categorias de uso: Área de Proteção Ambiental, Florestas Estaduais, Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN e Reserva de Desenvolvimento Sustentável (ICMBio, 2022).

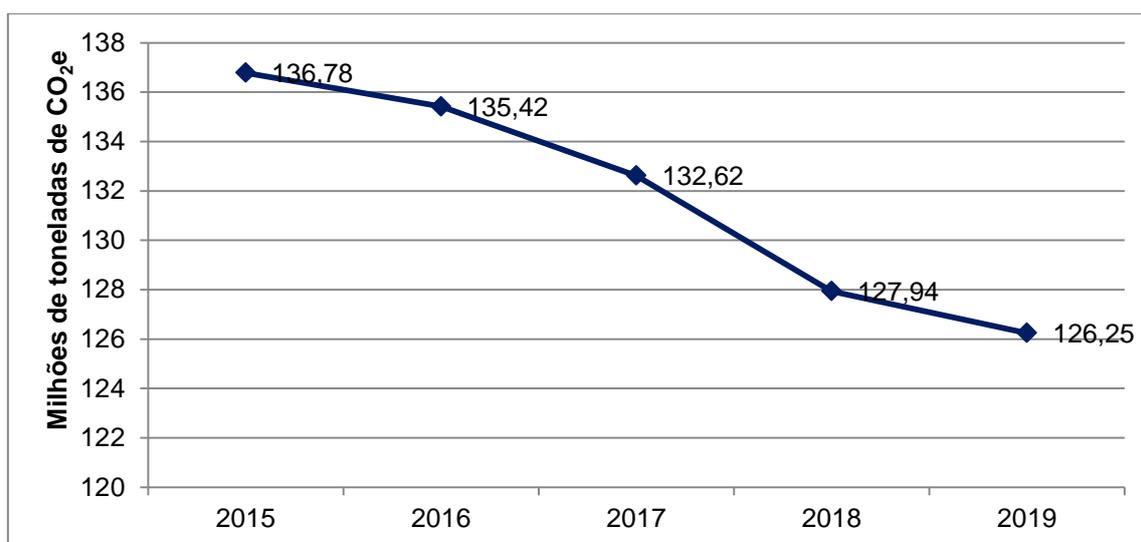
5. RESULTADOS CONSOLIDADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados totais do Inventário de Emissões e Remoções Antrópicas de GEE do Estado de Minas Gerais por categorias emissoras e variação das emissões entre os anos de 2015 e 2019.

5.1. Emissões brutas totais³

Em 2015, o estado de Minas Gerais foi responsável pela emissão de 137 milhões de toneladas de CO₂e, com uma redução de 7,7% em 2019, atingindo a emissão de 126 MtCO₂ e, conforme pode ser observado no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Evolução das emissões brutas no estado de Minas Gerais para o período de 2015 a 2019.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

Para compreender o comportamento das emissões no decorrer da série analisada, é necessário avaliar a contribuição dos diferentes setores e fontes de emissão. Em linhas gerais, observa-se que o setor de Energia apresentou uma redução significativa no decorrer dos anos, associado

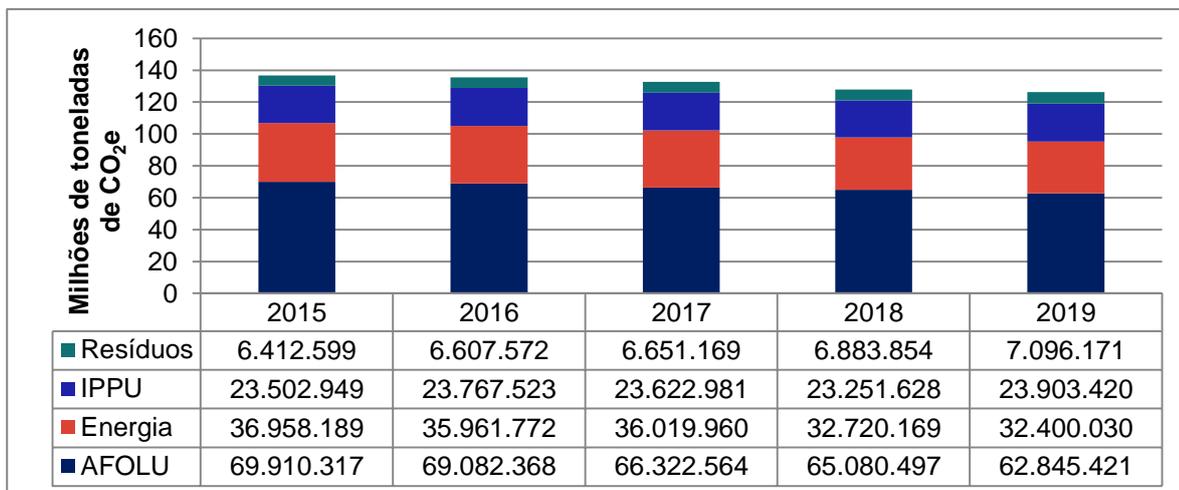
³ As emissões brutas são emissões que não consideram as remoções de GEE. Já as emissões líquidas incorporam as também às remoções promovidas no setor de Mudança do Uso da Terra. O total para esse tipo de emissão será apresentado nos próximos tópicos.

possivelmente com a recessão econômica e também diminuição na demanda. O setor de AFOLU, que compreende atividades relacionadas com mudança do uso da terra e agropecuária, também apresentou uma redução, associada principalmente com uma redução no rebanho do estado e também uma redução na taxa de desmatamento, em especial em relação ao ano de 2019.

O setor de Resíduos apresentou um aumento das suas emissões, relacionado principalmente com o crescimento populacional e também uma ampliação do acesso aos serviços de saneamento. Por fim, em relação ao setor de Processos Industriais, observou-se que as emissões se mantiveram próximas aos 23 MtCO₂e para todos os anos analisados.

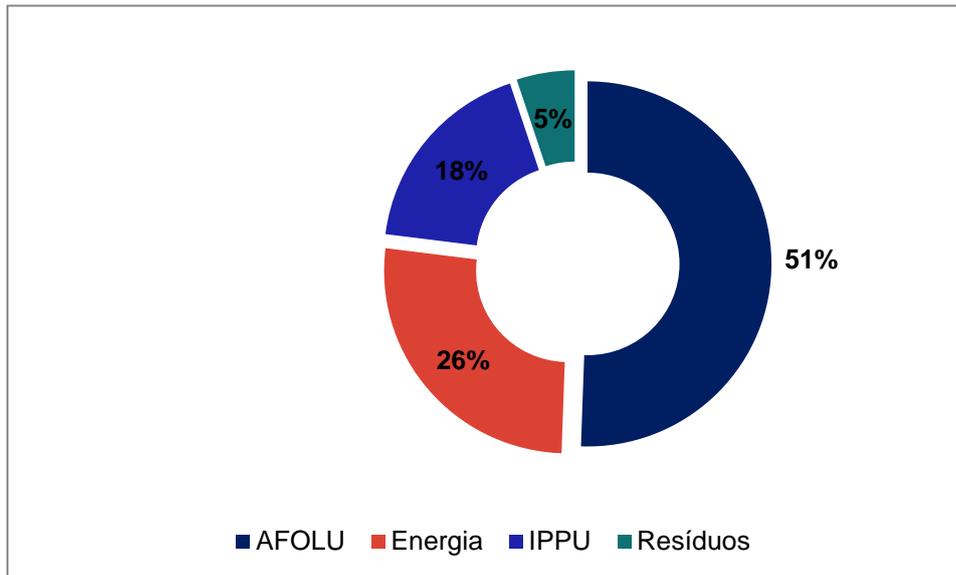
A contribuição de cada setor no total de emissões brutas e o perfil médio do estado pode ser observada nos Gráfico 4 e Gráfico 5. Ressalta-se que os próximos tópicos apresentarão de forma detalhada os resultados setoriais.

Gráfico 4 - Emissões brutas por setor no estado de Minas Gerais para os anos de 2015 a 2019.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

Gráfico 5 - Perfil médio de emissões brutas por setor para anos de 2015 a 2019.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

5.2. Emissões por setor

5.2.1. Energia

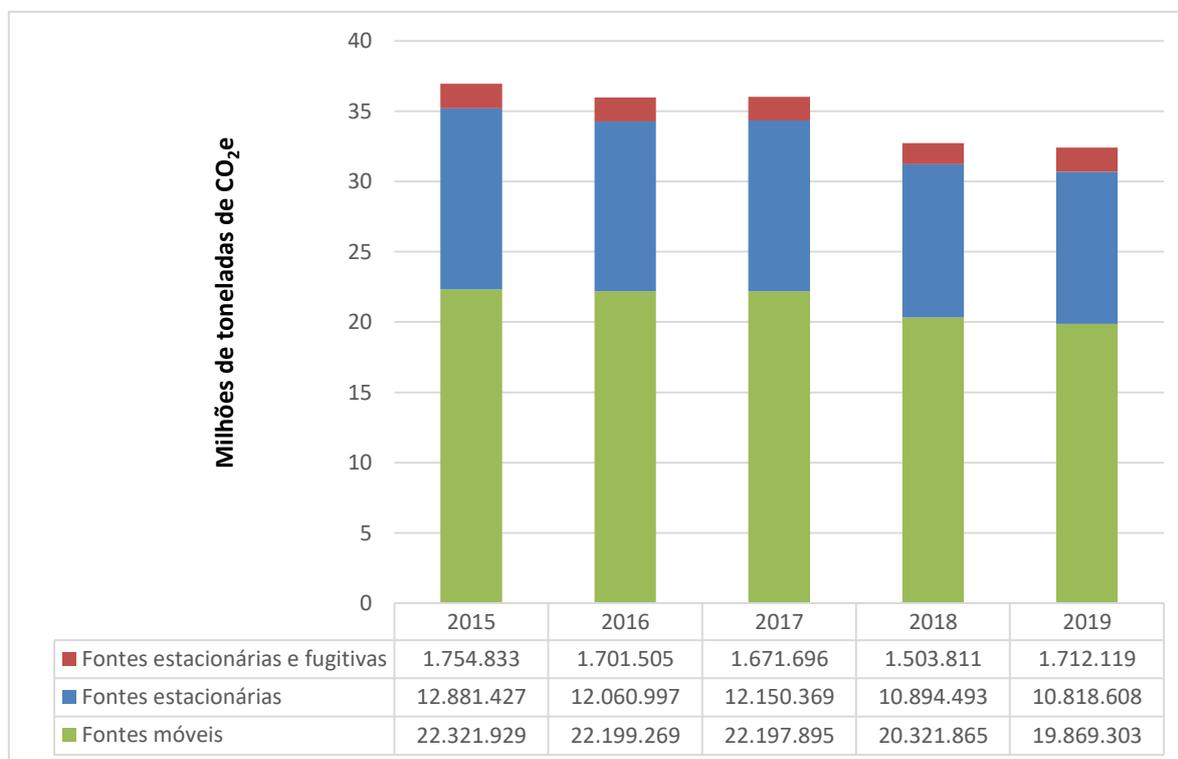
O setor de Energia apresenta as emissões provenientes da produção, transformação, distribuição e consumo de diferentes formas de energia, desagregadas em fontes estacionárias, móveis e emissões fugitivas.

As emissões do setor apresentaram uma redução de 14% nas emissões entre 2015 (36,9 MtCO₂e) e 2019 (32,4 MtCO₂e), principalmente relacionada com uma redução nas emissões provenientes de fontes móveis (8%), em especial do transporte rodoviário, e de fontes estacionárias (6%), decorrente majoritariamente da redução do consumo de combustíveis em atividades industriais.

O setor de Energia é responsável, em média, por 26% das emissões no estado considerando todo o período analisado, as emissões totais são apresentadas no Gráfico 6. Destaca-se que 2018 foi o ano que apresentou a maior redução percentual, devido a uma redução significativa de emissões de fontes estacionárias. Além disso, também é importante ressaltar que o consumo de

combustíveis fósseis em fontes móveis é a principal atividade fonte de emissão de Energia em Minas Gerais, representando cerca de 61% das emissões totais do setor.

Gráfico 6 - Evolução das emissões do setor de Energia por subsetor entre os anos de 2015 e 2019.



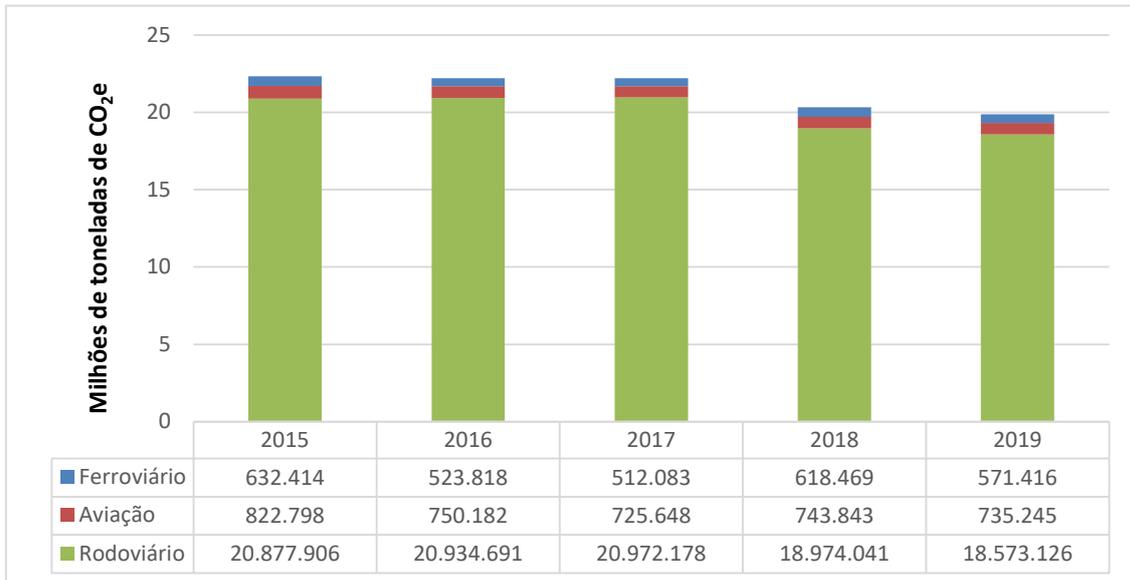
Fonte: Elaboração própria, 2022.

5.2.1.1. Fontes móveis

As emissões de fontes móveis são oriundas da queima de combustíveis nos diferentes modais de transportes presentes no estado de Minas Gerais. O Gráfico 7 apresenta a evolução das emissões de fontes móveis desagregadas pelo tipo modal no período inventariado. Observa-se que o transporte rodoviário é o mais representativo nas emissões, com contribuição média 94% das emissões por ano, a aviação e transporte ferroviário são responsáveis por apenas 3% das emissões cada.

No período analisado as emissões oriundas dos modais de transporte apresentaram uma redução geral de 12,3% nas emissões, com um decréscimo de 11,5% para o modal rodoviário, de 0,3% para o ferroviário e 0,5% para a aviação, essas reduções ficam mais evidentes a partir de 2017.

Gráfico 7 - Evolução das emissões de fontes móveis entre os anos de 2015 e 2019.



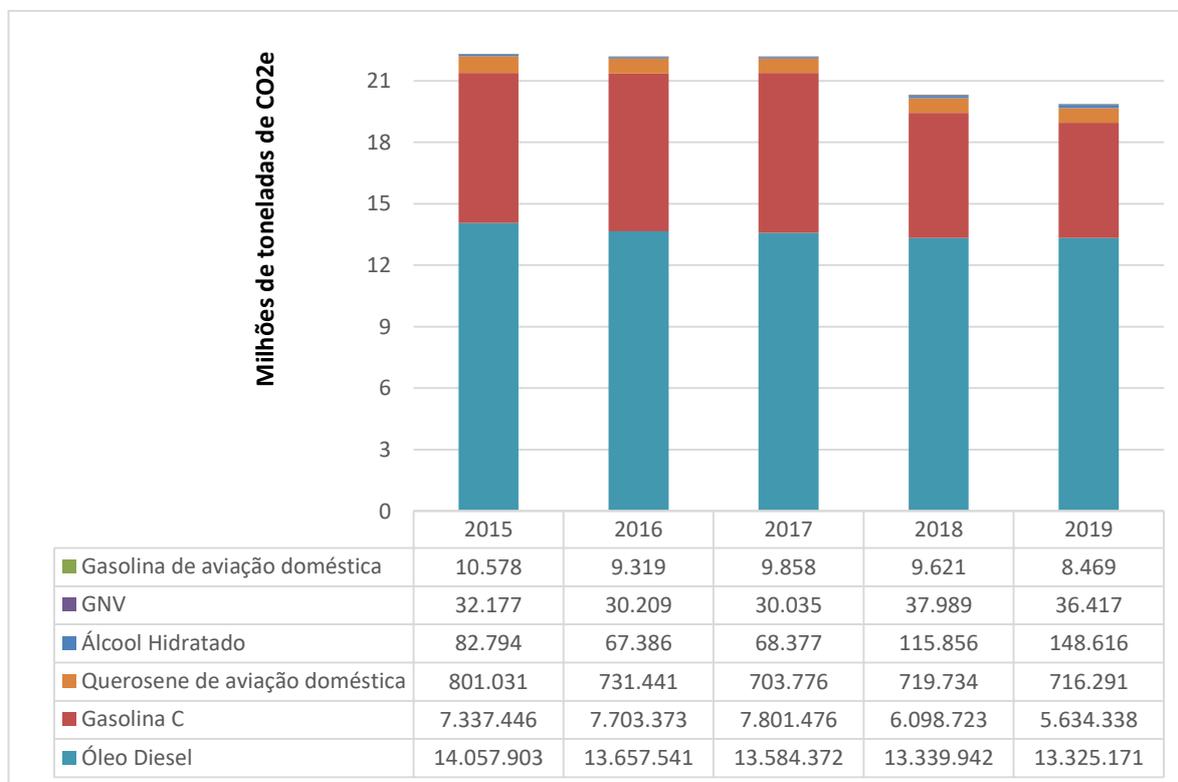
Fonte: Elaboração própria, 2022.

Analisando as emissões de por tipo de combustível consumido em fontes móveis, destaca-se a participação do óleo diesel com 64% das emissões, e da gasolina comum com 32%. As emissões do consumo de álcool hidratado aumentaram 80% entre 2015 e 2019, com a emissão equivalente a 148.616 toneladas de CO₂e em 2019. Mesmo com esse aumento as emissões do uso de álcool hidratado corresponderam a apenas 0,75% das emissões de fontes móveis, em 2019, porque as emissões de CO₂ relacionadas com esse tipo de combustível são biogênicas⁴.

As emissões do uso de GNV aumentaram 13% no período analisado, o uso desse combustível tem uma contribuição média de 0,2% nas emissões de fontes móveis. O consumo de querosene e gasolina de aviação doméstica correspondem aos outros 3,4% das emissões de fontes móveis. A contribuição de cada tipo de combustível pode ser observada no Gráfico 8.

⁴Emissões biogênicas são emissões que não contribuem para a intensificação do efeito estufa porque estão relacionadas ao ciclo natural do carbono. No geral, é uma emissão oriunda do consumo de biocombustíveis, para a estimativa de CO₂equivalente (CO₂e) as emissões de CO₂biogênico não são contabilizadas, mas a parcela de CH₄ e N₂O que são emitidos na queima de biomassa são contabilizadas.

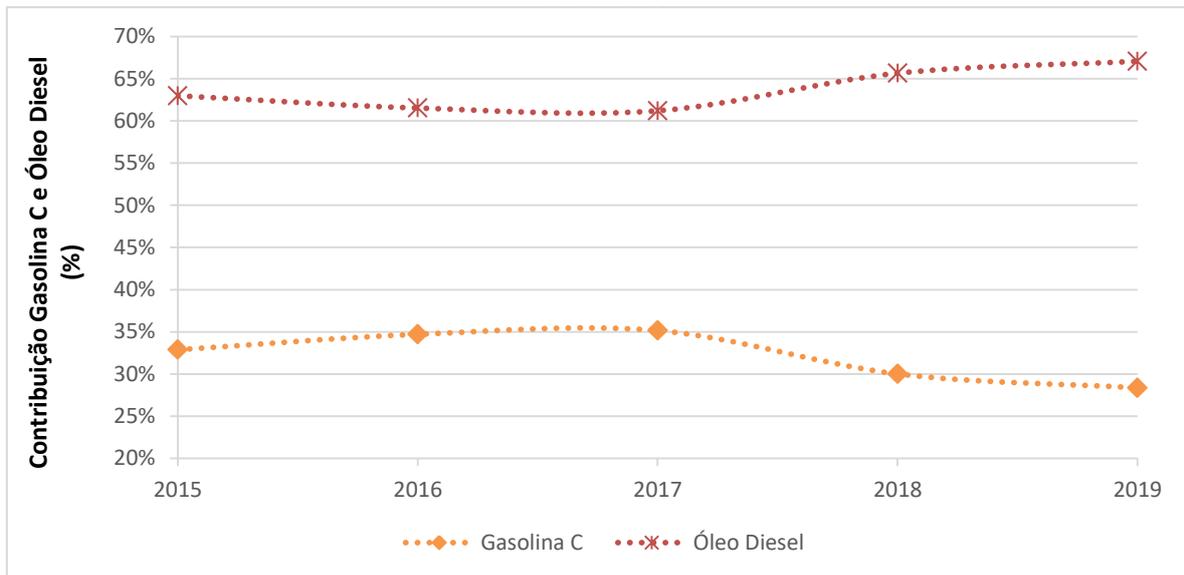
Gráfico 8 - Emissões totais por tipo de combustível consumido por fontes móveis, por ano (2015-2019).



Fonte: Elaboração própria, 2022.

Entre 2017 e 2019 observou-se uma mudança na contribuição das emissões referentes à gasolina C e ao Óleo Diesel, como apresentado pelo gráfico seguinte. Em 2017 a participação da gasolina C nas emissões atinge o seu valor máximo (35%) e o óleo diesel atinge o valor mínimo (61%). Em 2019, a contribuição nas emissões da gasolina diminuiu para 28,4%, e a do óleo diesel aumentou para 67,1%. Através dessa análise, infere-se que a redução de emissões de fontes móveis está relacionada, em grande parte, com a diminuição do consumo de gasolina C. O Gráfico 9 apresenta a contribuição percentual da gasolina C e óleo diesel no estado de Minas Gerais por ano inventariado.

Gráfico 9 - Contribuição percentual de Gasolina C e Óleo Diesel nas emissões por fontes móveis, 2015-2019.

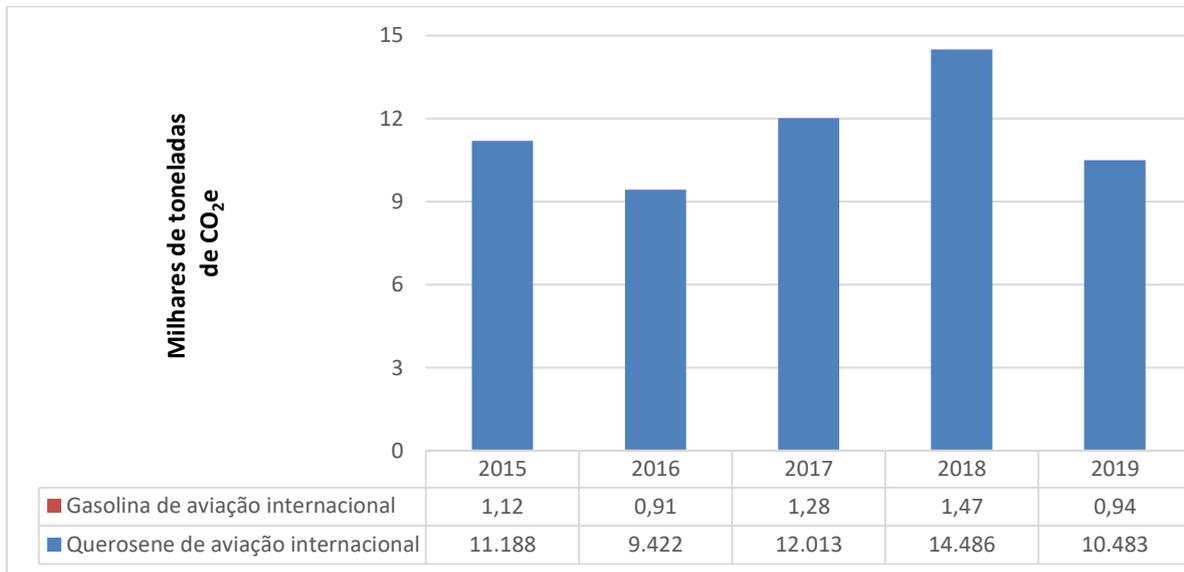


Fonte: Elaboração própria, 2022.

É importante destacar que na estimativa de emissões de fontes móveis, também, são quantificadas as emissões *bunkers*, que são aquelas relacionadas ao transporte internacional (marítimo e aéreo), e por serem de responsabilidade de mais de um país, devem ser reportadas separadas. Para o estado de Minas Gerais, pela ausência de transporte marítimo internacional, foram consideradas apenas as emissões na modalidade de aviação internacional para a estimativa dos *bunkers*.

A contribuição do querosene de aviação internacional é de 99,9% nessas emissões. Observa-se no ano de 2016 a menor emissão em todo o período analisado com o equivalente a 9,4 MtCO₂e. As emissões de 2019 apresentaram uma redução de 38,1% em relação às emissões de 2018, conforme pode ser observado no Gráfico 10.

Gráfico 10 - Emissões anuais por bunkers do estado de Minas Gerais, 2015-2019.

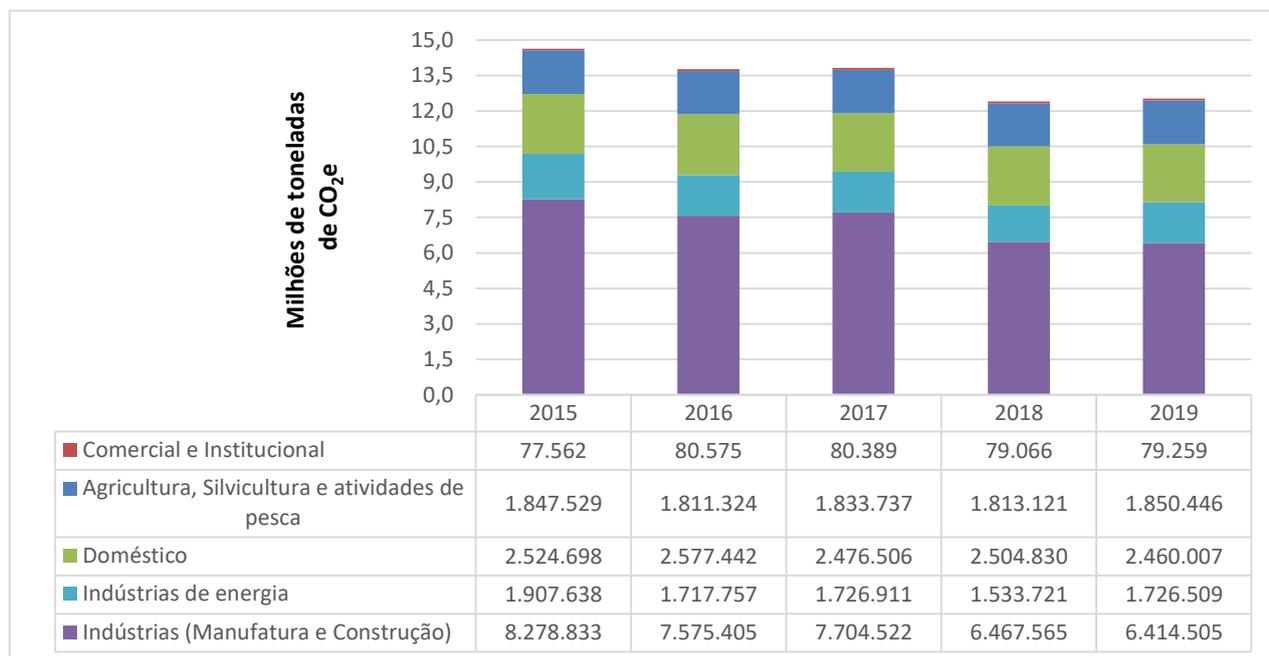


Fonte: Elaboração própria, 2022.

5.2.1.2. Fontes estacionárias e emissões fugitivas

As emissões das fontes estacionárias são oriundas da queima de combustíveis para geração de energia térmica e/ou elétrica. Conforme pode ser verificado no Gráfico 11. O período analisado apresenta duas reduções relevantes, a primeira ocorreu em 2016 com uma redução de 6,3% das emissões em relação ao ano 2015, e o segundo em 2018 com uma redução de 11,5% em relação a 2017. Essas reduções estão relacionadas principalmente à diminuição do consumo de energia em indústrias de manufatura e construção, que são as que mais contribuem com as emissões na categoria, com contribuição média de 54%. O Gráfico 11 apresenta a evolução das emissões de fontes estacionárias ao longo dos anos.

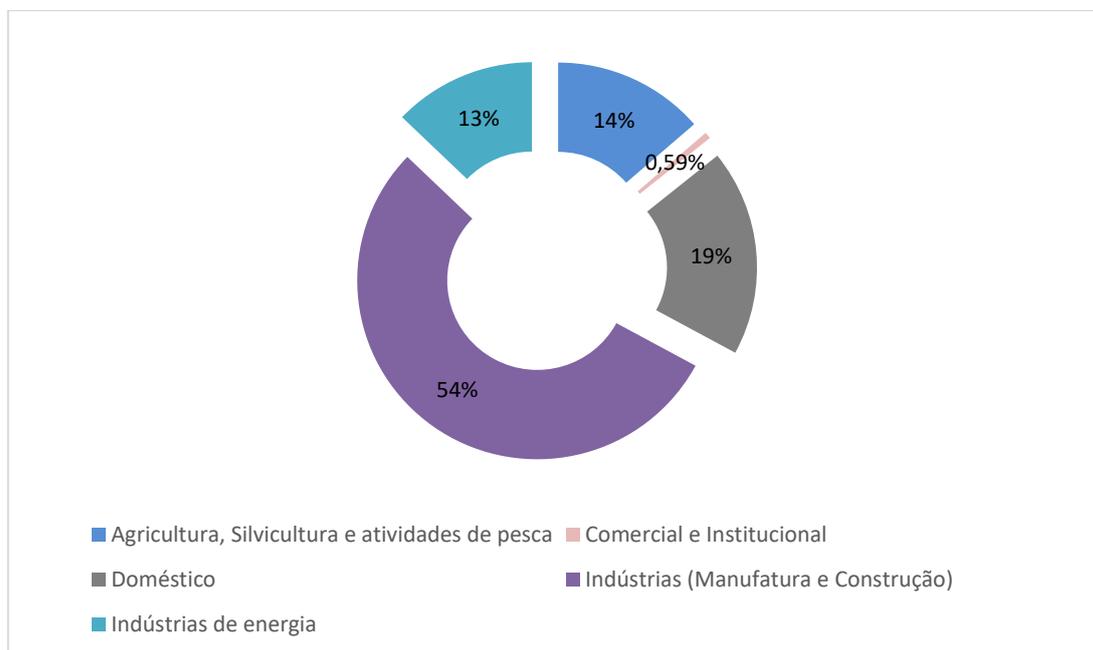
Gráfico 11 - Evolução das emissões totais por fontes estacionárias, por ano (2015-2019).



Fonte: Elaboração própria, 2022.

Conforme mencionado anteriormente, as atividades industriais relacionadas com manufatura e construção são as que mais contribuem na categoria, no entanto, também é possível destacar emissões relacionadas com indústrias voltadas para a geração de energia (13%), e o consumo de combustíveis proveniente do uso doméstico, este último com contribuição média de 19% das emissões de fontes estacionárias. O perfil médio de contribuição por tipo de uso pode ser observado no Gráfico 12.

Gráfico 12 - Perfil das emissões por fontes estacionárias.



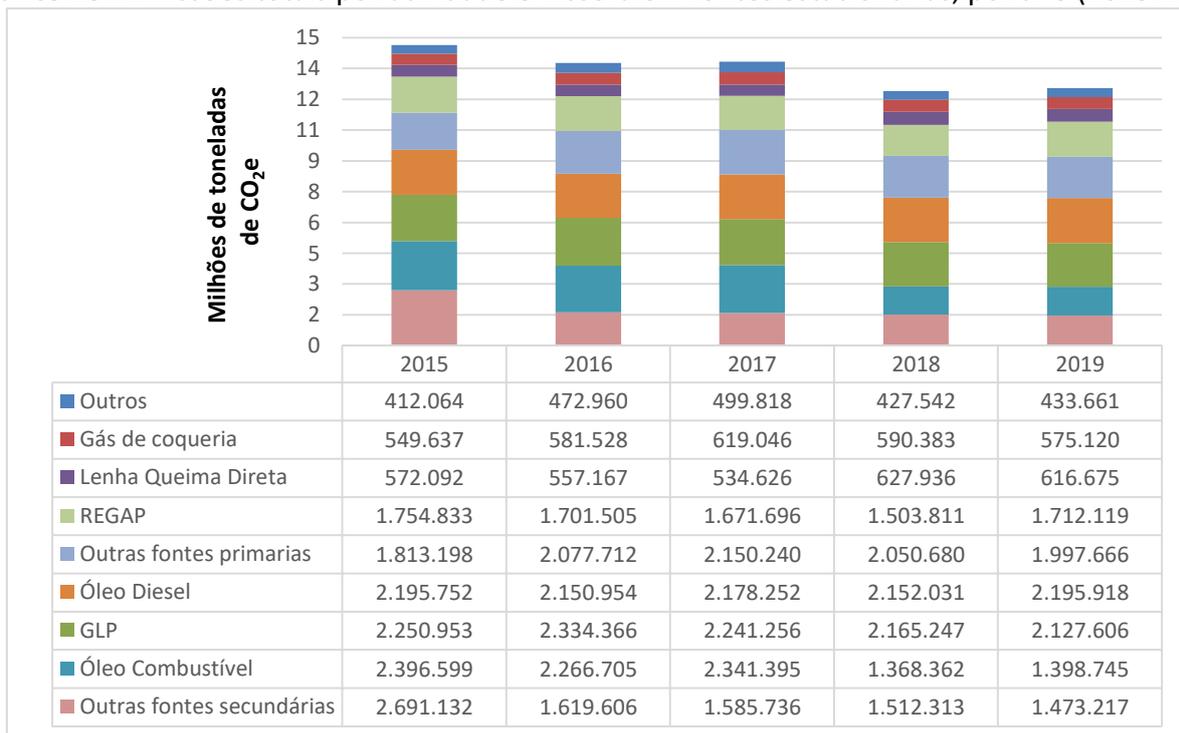
Fonte: Elaboração própria, 2022.

A redução das emissões desse subsetor está fortemente correlacionada com as emissões do setor industrial, mais especificamente, com a origem dos combustíveis consumidos nos processos industriais. Conforme observado no Gráfico 13, a seguir, a utilização de fontes secundárias de energia de origem fóssil nas atividades industriais no estado de Minas Gerais representou 18% das emissões em 2015 (2,6 MtCO₂e), mas ao longo dos anos foi observado que a emissão relacionada com o consumo deste combustível diminuiu, chegando à 11,8% das emissões em 2019 (1,4 MtCO₂e).

O consumo de óleo combustível, onde sua principal utilização é para a produção de energia térmica em processos industriais, também passou por uma redução nas emissões, em 2015 esse combustível foi responsável pela emissão de 2,3 MtCO₂e (16,4%), alcançando o valor de 1,3 MtCO₂e (11,2%) em 2019, nesse mesmo período observa-se o aumento na utilização de outras fontes primárias de origem fóssil em atividades industriais.

Destacam-se também as emissões provenientes do uso de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) e da queima direta de lenha no uso doméstico. No período analisado foi identificado um aumento no consumo de lenha em 7,4%, mas o consumo de GLP apresentou uma redução de 5,5% para o mesmo período. O Gráfico 13 apresenta, de forma desagregada, as emissões por atividade fonte de emissão do setor de Energia.

Gráfico 13 - Emissões totais por atividade emissora em fontes estacionárias, por ano (2015-2019)



Fonte: Elaboração própria, 2022.

Na categoria Outros são representados as emissões do consumo de bagaço de cana-de-açúcar, carvão energético e vegetal, coque de carvão mineral e gás natural que juntos representam juntos 3% das emissões.

Para as emissões relacionadas ao processo, destaca-se a atividade da Refinaria Gabriel Passos (REGAP), localizada em Betim, na região metropolitana de Belo Horizonte. Nela são refinados diferentes produtos como a Gasolina A, diesel, combustível marítimo (*bunker*), querosene de aviação (QAV), gás liquefeito de petróleo (GLP), asfaltos, coque verde de petróleo, óleo

combustível, enxofre e aguarrás. A REGAP possui capacidade de processamento de 24.000 m³/dia, atendendo grande parte do mercado mineiro e, eventualmente, o mercado do Espírito Santo.

As emissões relacionadas com essas atividades foram obtidas diretamente pela Petrobras, solicitadas via ofício e estão contempladas dentro das atividades de *indústrias de geração de energia*. Apesar dos dados serem obtidos diretamente, não foi possível desagregar as emissões e as emissões fugitivas oriundas da exploração de petróleo e gás, de modo que essas também estão contempladas em indústrias de geração de energia.

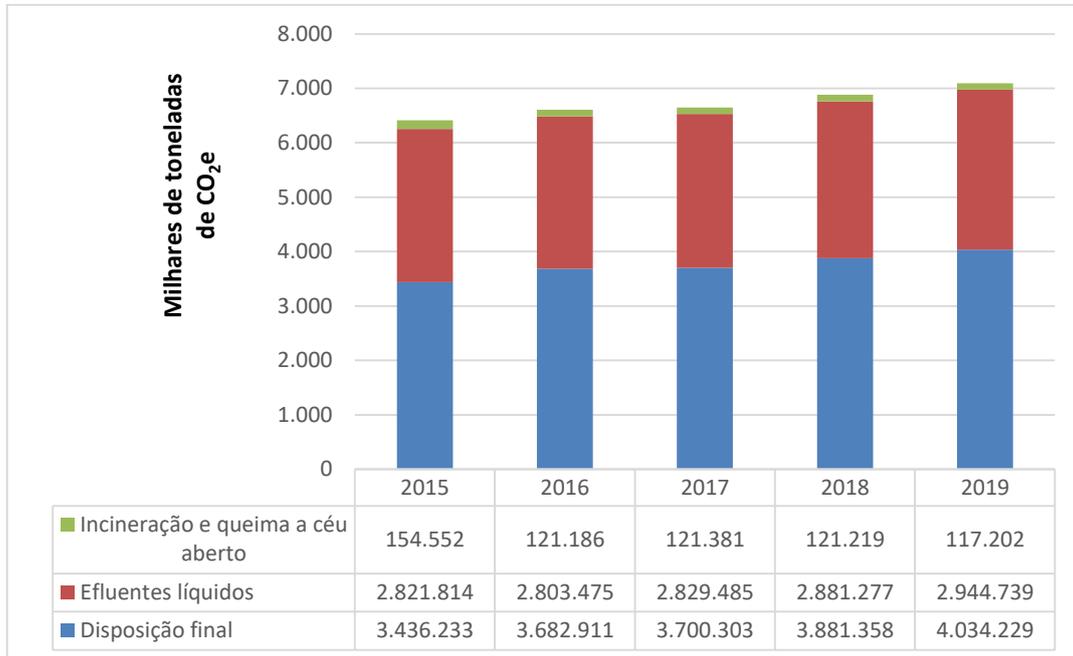
A REGAP foi responsável pela emissão de 1,75 MtCO₂e em 2015 e 1,71 MtCO₂e em 2019, reduzindo suas emissões em 2,4%. Porém, ao se analisar cada ano, destaca-se o ano de 2018, no qual a refinaria apresentou a menor emissão da série temporal, com o equivalente a 1,5 MtCO₂e. Esse comportamento está relacionado com uma redução na produção de petróleo no estado, que pode estar associado a uma mudança da atuação da Petrobrás na região, direcionada para uma lógica de desinvestimento. O Gráfico 13, acima, apresenta de forma desagregada, as emissões por tipo de combustível utilizado nas fontes estacionárias, juntamente com as emissões da REGAP.

5.2.2. Resíduos

O setor de Resíduos apresenta emissões de GEE oriundas do tratamento de resíduos sólidos e efluentes líquidos no estado. As emissões do setor de Resíduos totalizaram 6,4 MtCO₂e em 2015 e 7,1 MtCO₂e em 2019, apresentando um crescimento de 10,7% nas emissões. Esse setor é responsável, em média, por 5,1% das emissões totais no estado.

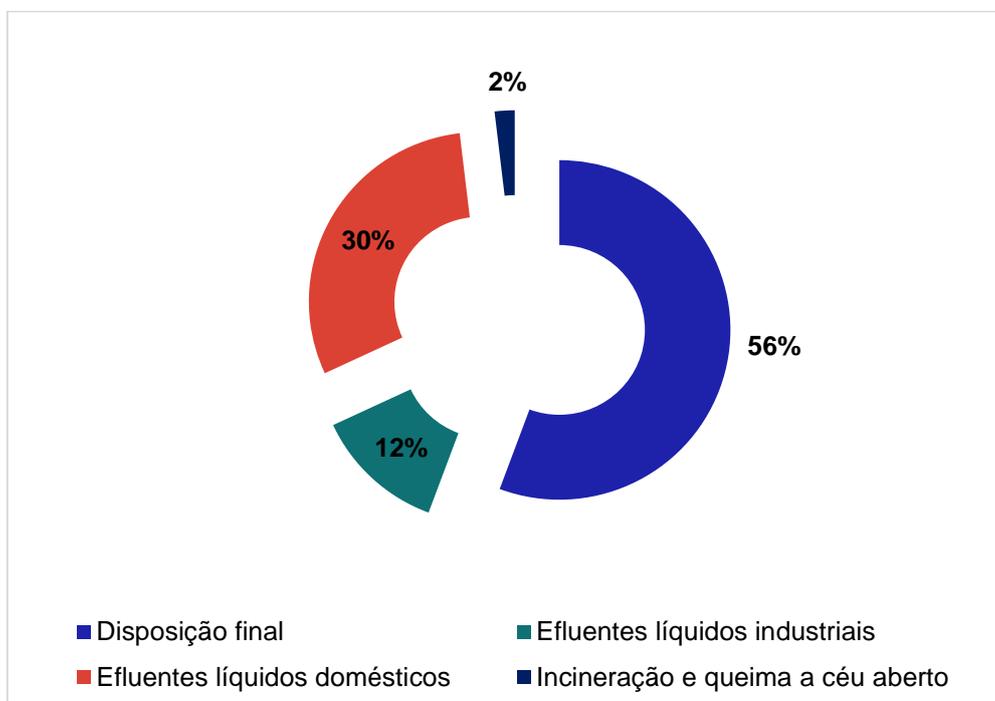
O setor de resíduos é desagregado em diferentes categorias, como a disposição final de resíduos sólidos, tratamento térmico e queima a céu aberto, tratamento biológico e o tratamento de efluentes, tanto doméstico, quanto industrial. Para todo o período analisado, as emissões relacionadas com encaminhamento de resíduos sólidos municipais para aterros sanitários e outros locais de disposição foram as mais representativas do setor, contribuindo com 56% das emissões, conforme pode ser observado no Gráfico 14 e Gráfico 15.

Gráfico 14 - Evolução das emissões do setor de resíduos e subsetores entre os anos de 2015 e 2019.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

Gráfico 15 - Perfil das emissões do setor de resíduos.



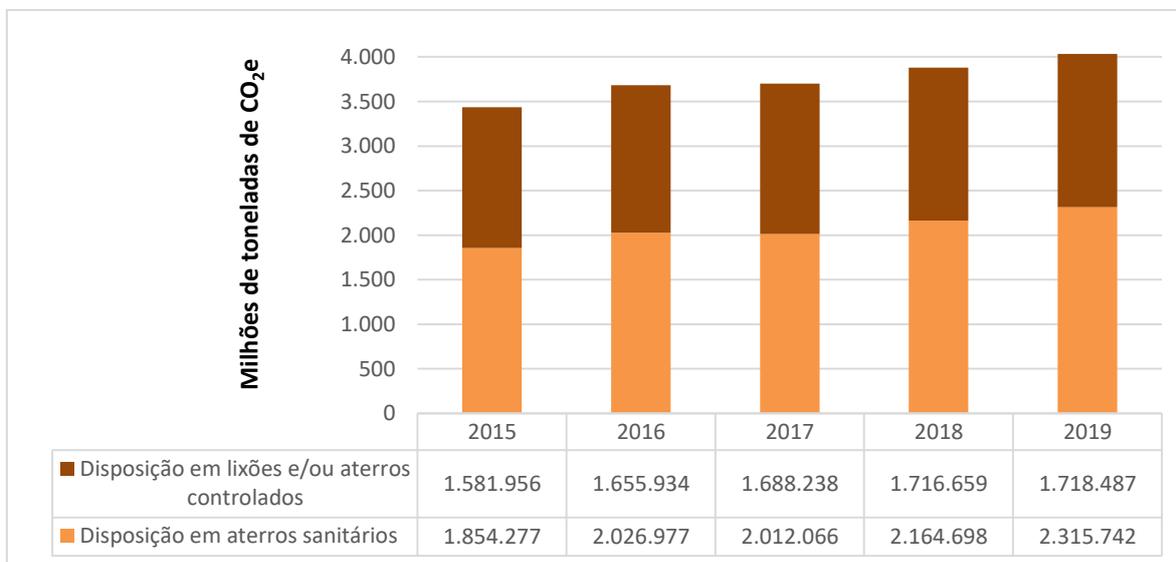
Fonte: Elaboração própria, 2022.

5.2.2.1. Disposição final de resíduos sólidos

Conforme mencionado anteriormente, as emissões oriundas pela disposição final dos resíduos sólidos em aterros sanitários, controlados ou lixões são as mais significativas no setor, atingindo 56,8% das emissões do setor em 2019 com o equivalente a 4 MtCO₂e. Destaca-se que a maior parte dessas emissões são provenientes da disposição final dos resíduos em aterros sanitários, isso pode ser correlacionado ao fato do número de lixões no estado apresentar uma diminuição ao longo dos últimos anos, em especial de 8% entre 2015 a 2019.

O Gráfico 16 apresenta a evolução das emissões da disposição final de resíduos sólidos municipais ao longo dos anos, apontando um aumento de 17,4% nas emissões. É importante destacar que o aumento das emissões também está relacionado com o crescimento populacional, que, sem políticas concretas para a promoção da diminuição da geração, está diretamente relacionado a um aumento na quantidade de resíduos gerados.

Gráfico 16 - Emissões por tipo de disposição final para os anos de 2015 a 2019.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

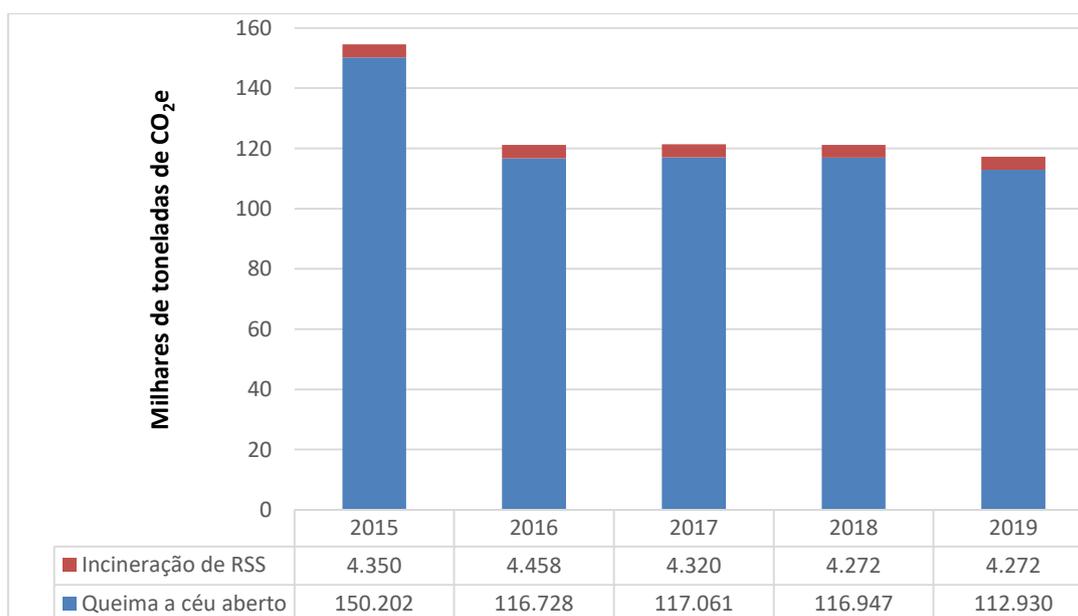
Outro aspecto relevante no estado é a recuperação de metano (CH₄) em aterros sanitários, uma importante medida de mitigação no setor de resíduos. Com o aproveitamento do biogás de aterro para a geração de energia térmica, elétrica ou até mesmo queima, evita-se que o metano seja diretamente lançado na atmosfera. No estado de Minas Gerais, a recuperação de metano se

destaca através do reaproveitamento do biogás nas unidades da CTRS (Central de Tratamento de Resíduos Sólidos) na BR-040, em Belo Horizonte, Macaúbas *Landfill Gas Project* em Sabará, CTR Vale do Aço em Santana do Paraíso e CTR Zona da Mata em Juiz de Fora. Essas três localidades foram responsáveis pela recuperação de 610 mil tCO₂e em 2015, com uma evolução gradativa nos anos posteriores, atingindo a marca de recuperação de 766 mil tCO₂e em 2019.

5.2.2.2. Incineração e queima a céu aberto

A emissão pelo tratamento térmico seja por incineração ou de forma não controlada, com a queima a céu aberto, representa 2% das emissões totais do setor. As principais fontes de emissões identificadas em Minas Gerais são provenientes da queima de Resíduos Sólidos de Saúde (RSS) e da queima de resíduos sólidos municipais por parte da população que não tem acesso aos serviços de coleta. A visão geral dos resultados é apresentada pelo Gráfico 17.

Gráfico 17 - Emissões pela incineração e queima a céu aberto (2015-2019).



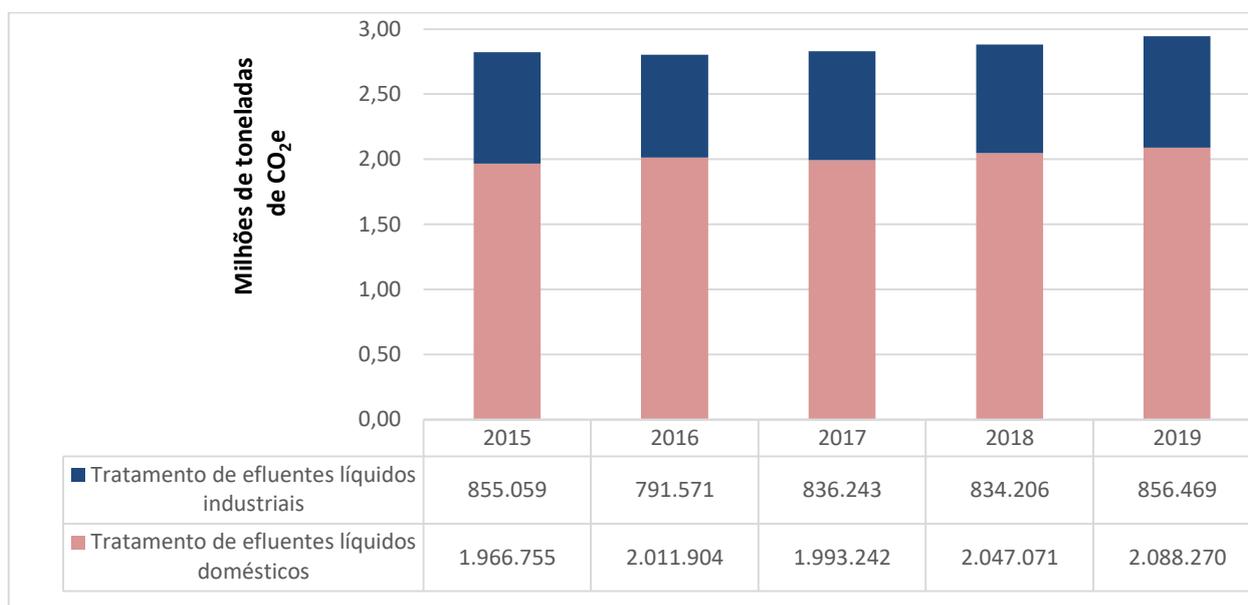
Fonte: Elaboração própria, 2022.

5.2.2.3. Efluentes líquidos domésticos e industriais

O tratamento de efluentes líquidos contribui com 42% das emissões do setor de resíduos, sendo que o tratamento de águas residuais domésticas representa, em média, 30% das emissões e o

tratamento de efluentes industriais representa 20% do total gerado no subsetor. O Gráfico 18 apresenta a evolução das emissões do tratamento de efluentes domésticos e industriais entre 2015 e 2019. É observado uma maior contribuição nas emissões provenientes do tratamento de efluentes líquidos domésticos, cerca de 71%, em 2019. De forma geral, tanto o tratamento industrial, quanto o doméstico não apresentam grandes oscilações de emissões entre os anos analisados, porém o ano de 2019 obteve os maiores níveis de emissão.

Gráfico 18 - Emissões pelo tratamento de efluentes líquidos domésticos e industriais (2015-2019).



Fonte: Elaboração própria, 2022.

5.2.2.3.1. Efluentes líquidos domésticos

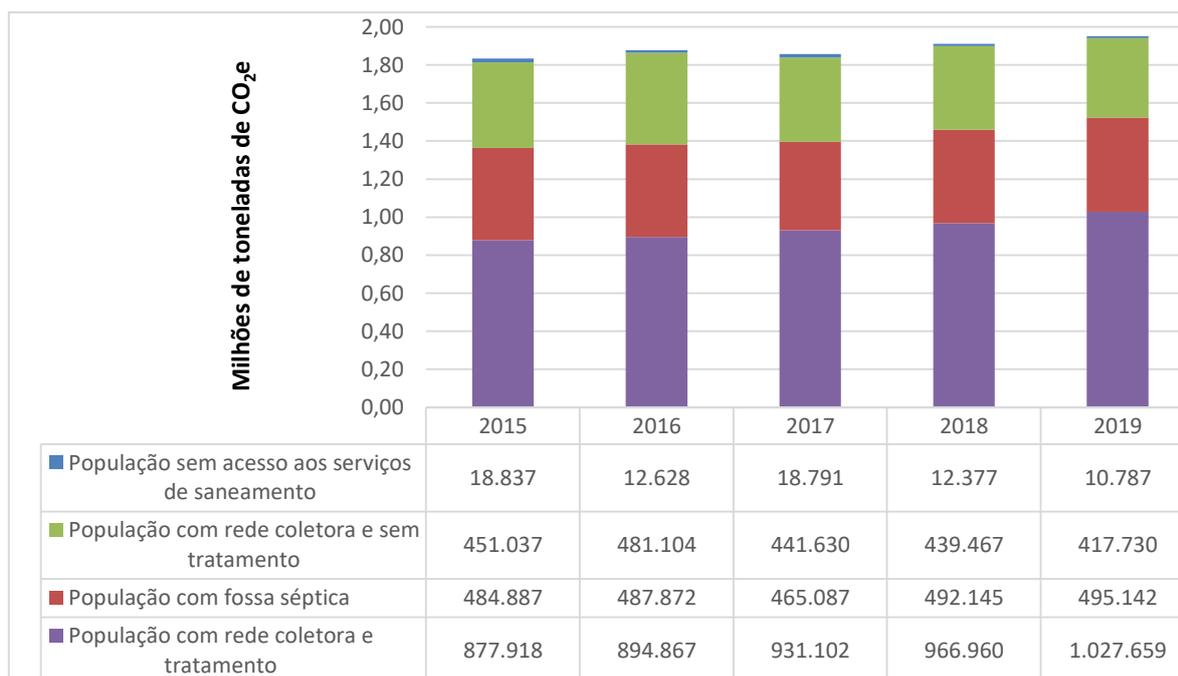
As emissões de GEE relacionadas com tratamento de efluentes domésticos podem ser desagregadas em quatro principais rotas de tratamento ou não tratamento, são elas: população que recebe cobertura, com posterior encaminhamento para Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs); população que recebe cobertura do serviço de coleta, no entanto, não recebe tratamento; população que pratica soluções individuais, como fossas sépticas; e população sem cobertura e sem tratamento.

Em relação à coleta ou não de efluentes domésticos e os tipos de tratamento adotados, destaca-se que em média 50% das emissões, nos anos inventariados, são oriundas da população que

possui acesso ao serviço de coleta e tratamento, soluções individuais representam 26% das emissões. As emissões provenientes da população que possui coleta, mas não possui tratamento adequado é responsável por 23% das emissões e a fração sem coleta e sem tratamento é responsável por 1% das emissões.

Destaca-se que no período analisado foi observado um aumento de 17% na população com acesso a rede de coleta e tratamento de efluentes domésticos, indicando que o estado está avançando para a universalização e cumprimento das políticas setoriais, assim como observado para a disposição final ambientalmente adequada de resíduos sólidos municipais, apresentado no tópico anterior. A evolução das emissões do tratamento de efluentes domésticos desagregada por tipo de coleta e tratamento é apresentada no Gráfico 19.

Gráfico 19 - Emissões pelo tratamento de efluentes domésticos por tipo de coleta e tratamento (2015-2019).



Fonte: Elaboração própria, 2022.

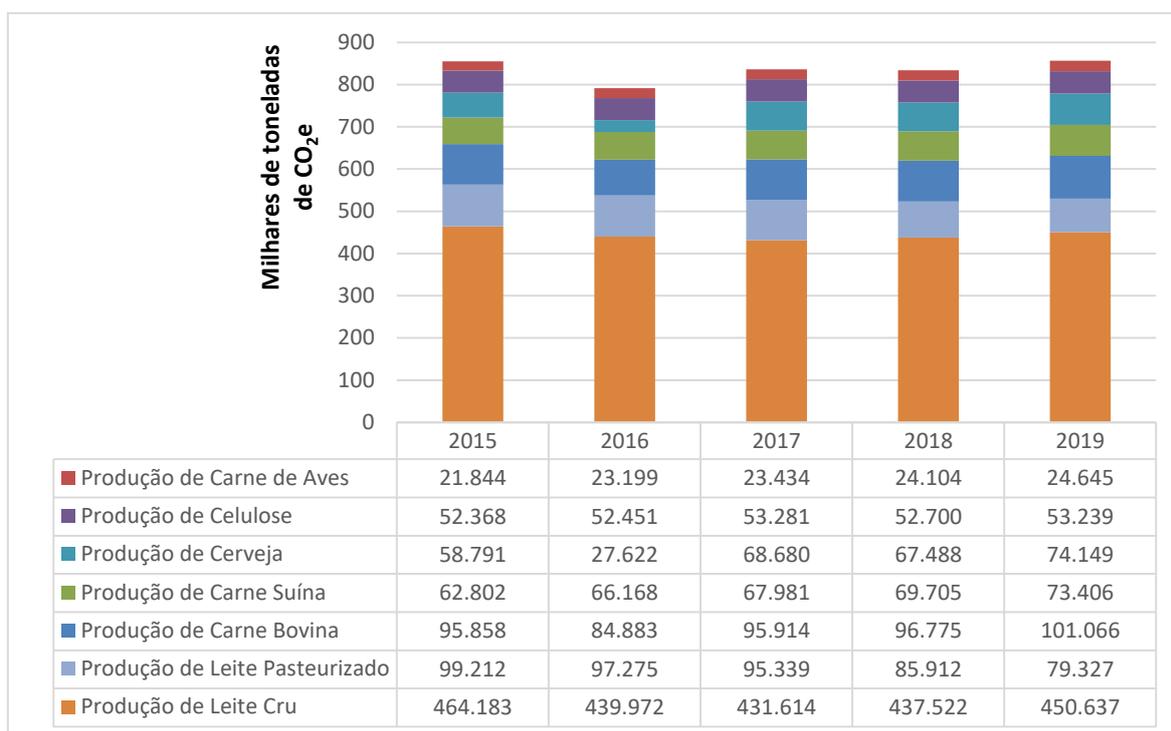
5.2.2.3.2. Efluentes líquidos industriais

Em relação aos tipos de atividades industriais que mais contribuem para as emissões no subsetor, destaca-se a produção de leite cru, responsável por 53% das emissões. Relaciona-se com o

protagonismo do estado de Minas Gerais, o qual ocupou o 1º lugar no *Ranking* Nacional de produção de leite cru em 2020. A produção de carne bovina (12%) e de leite pasteurizado (11%) ocupam segundo e terceiro lugar nas emissões. Os resultados considerando cada uma das atividades estão apresentados no

Gráfico 20 e o perfil médio de emissões por tipo de atividade no Gráfico 21.

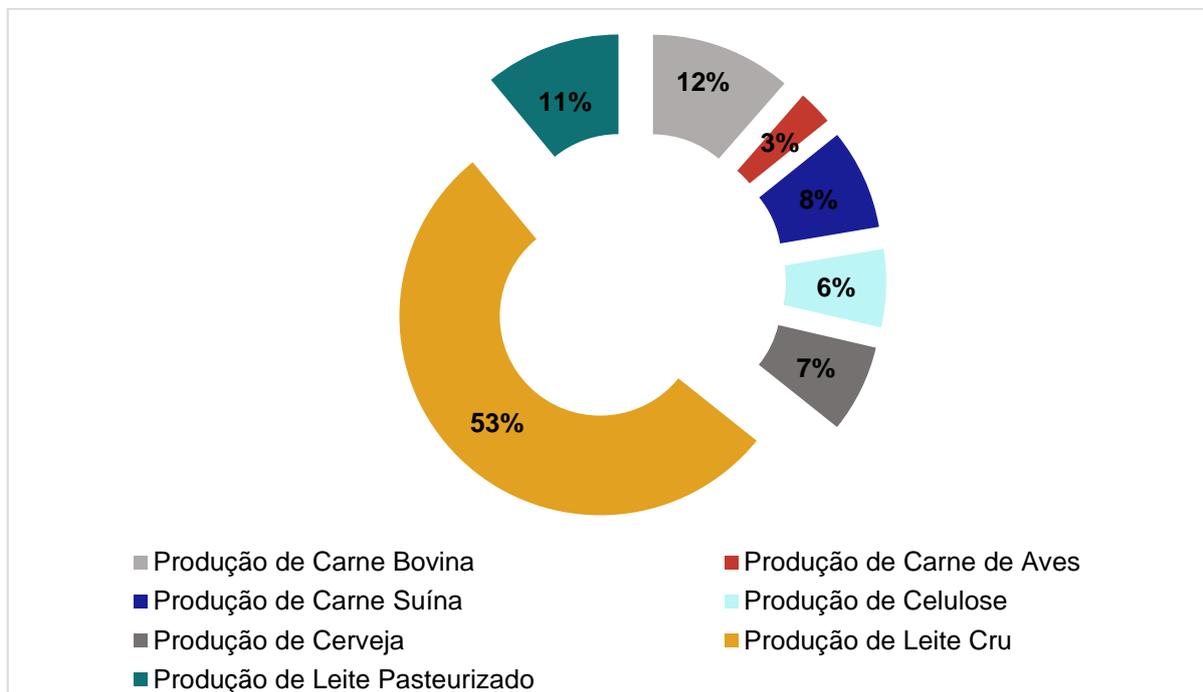
Gráfico 20 - Emissões pelo tratamento de efluentes industriais por tipo produção (2015-2019).



Fonte: Elaboração própria, 2022.

Em relação ao comportamento das emissões, destaca-se que no ano de 2016 foi possível observar uma redução de 8% nas emissões. No ano em questão, destaca-se a redução de 47% na produção de cerveja, resultando uma redução de 54% nas emissões da produção de cerveja. Já os demais setores produtivos não apresentaram uma variação tão expressiva em seus processos produtivos e, conseqüentemente, nas suas emissões.

Gráfico 21 - Contribuição de emissões de efluentes líquidos industriais.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

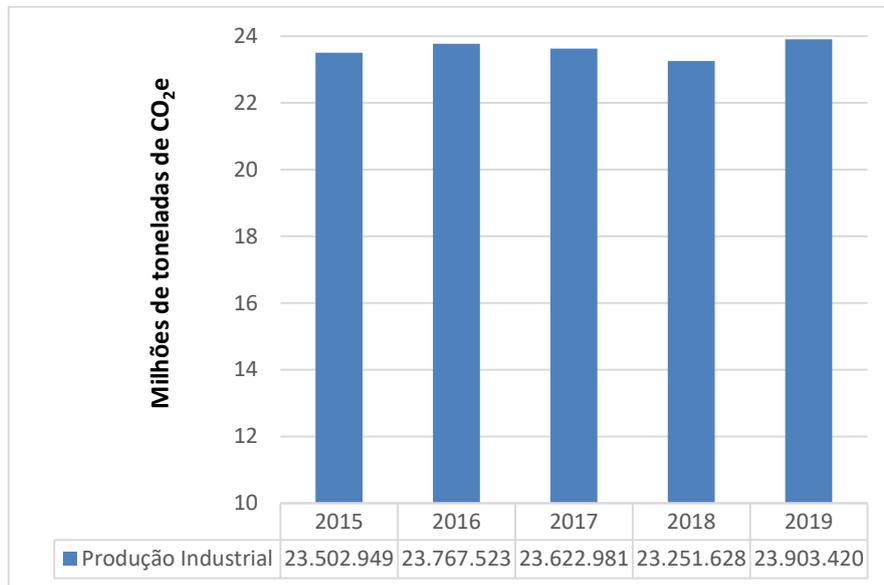
5.2.3. IPPU

Para o setor de IPPU são estimadas as emissões antrópicas decorrentes das atividades industriais, em especial, as indústrias de transformação química, mineral e de metais, e do uso de produtos industriais não relacionados ao consumo de combustíveis para a geração de energia.

Esse setor é responsável por cerca de 18% das emissões no estado de Minas Gerais. Responsável pela emissão de 23,5 MtCO₂e em 2015, atingindo o patamar de 23,9 MtCO₂e em 2019. De modo que se observa o comportamento mais constante entre os setores analisados.

Destaca-se então que as emissões provenientes de processos industriais e de uso de produtos não apresentaram grandes variações ao longo do período analisado. Observa-se um ligeiro crescimento de 1,7% nas emissões entre os anos de 2015 (23,5 MtCO₂e) e 2019 (23,9 MtCO₂e). Os resultados e a evolução das emissões do setor de IPPU são apresentados pelo Gráfico 22.

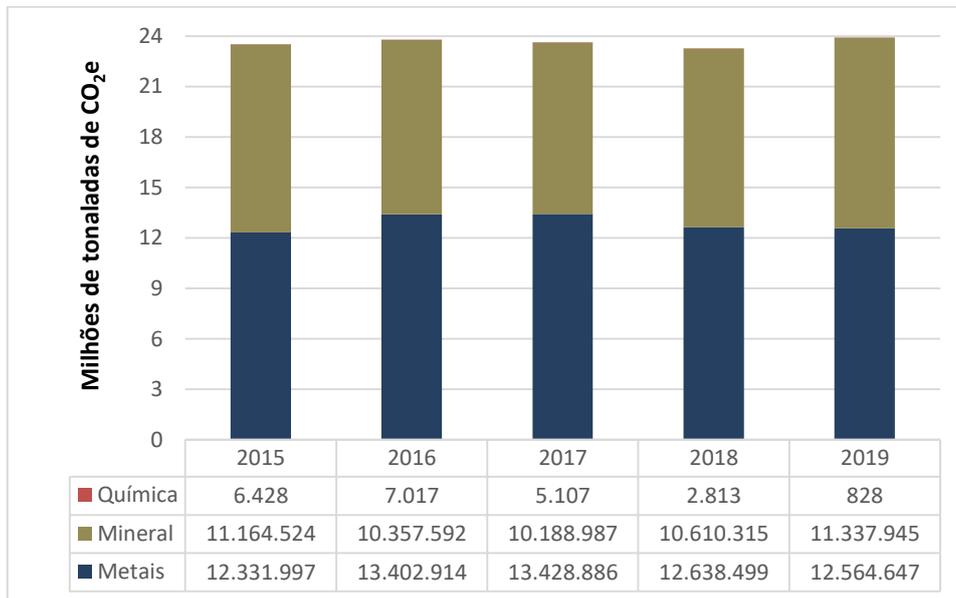
Gráfico 22 - Emissões da produção industrial em Minas Gerais para os anos de 2015 a 2019.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

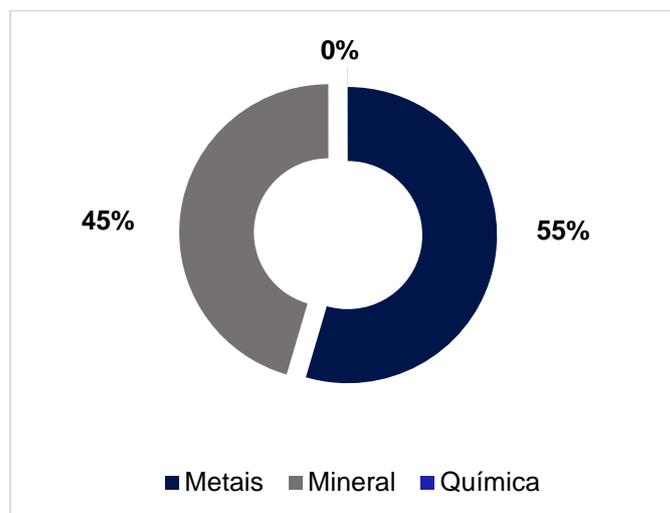
No período analisado, destaca-se a participação da indústria de metais (54,53%) nas emissões, especificamente as produções de aço e ferro-gusa, seguido da indústria mineral (45,46%), com as produções de cal e cimento, e, com menor contribuição, a participação da indústria química (0,02%). Os resultados desagregados por tipo de atividade industrial são apresentados no Gráfico 23, enquanto o Gráfico 24 apresenta o perfil médio do estado.

Gráfico 23 - Contribuição de emissões por setor produtivo (2015-2019).



Fonte: Elaboração própria, 2022.

Gráfico 24 - Perfil das emissões de IPPU.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

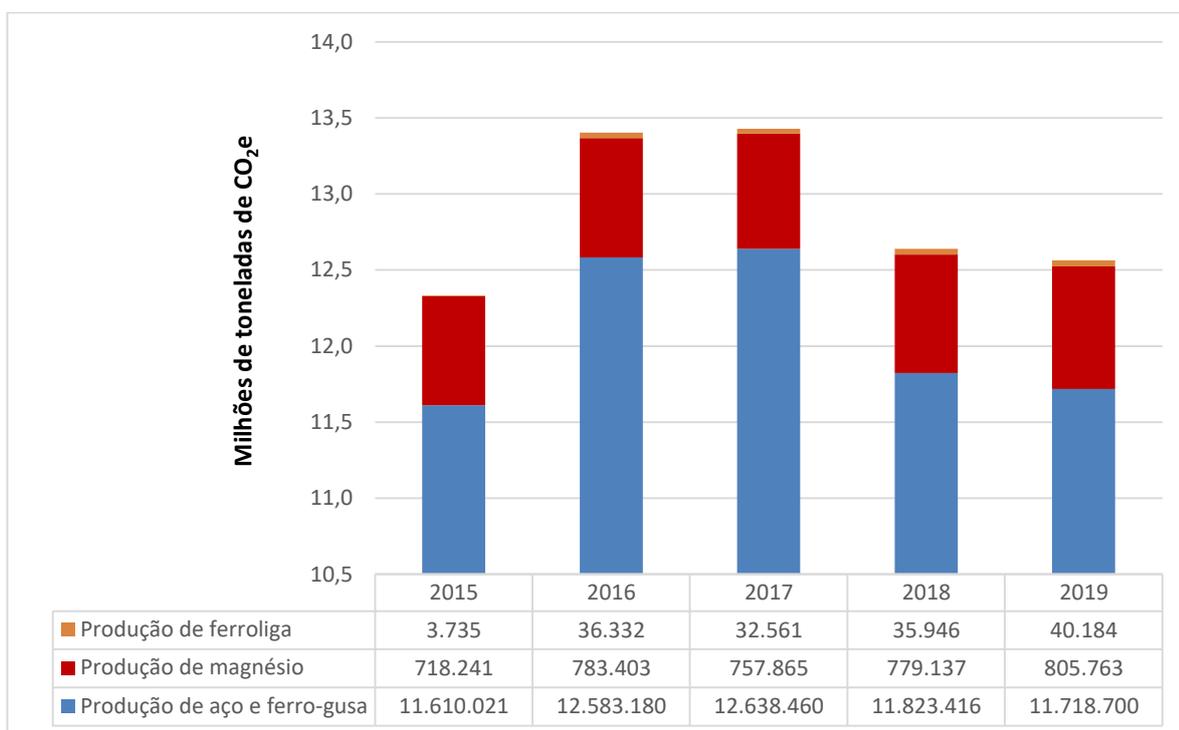
5.2.3.1. Indústria de Metais

Para quantificar as emissões da indústria de metal, foram estimadas as emissões dos processos de transformação para produção de aço, ferro-gusa, ferroligas e magnésio. É notável as emissões

provenientes da produção de aço e ferro-gusa, com contribuição equivalente a 94%, gerando em média 12,07 MtCO₂e por ano, sendo a produção mais impactante entre as avaliadas, conforme apresentado no Gráfico 25.

A contribuição das indústrias de metal ocorre pela grande concentração desse segmento no território mineiro, herdado da formação geológica do estado e de sua ocupação histórica atrelada às atividades deste setor (Portal da Indústria, 2022).

Gráfico 25 - Evolução das emissões na indústria de metais (2015-2019).



Fonte:

Elaboração própria, 2022.

5.2.3.2. Indústria de Minerais

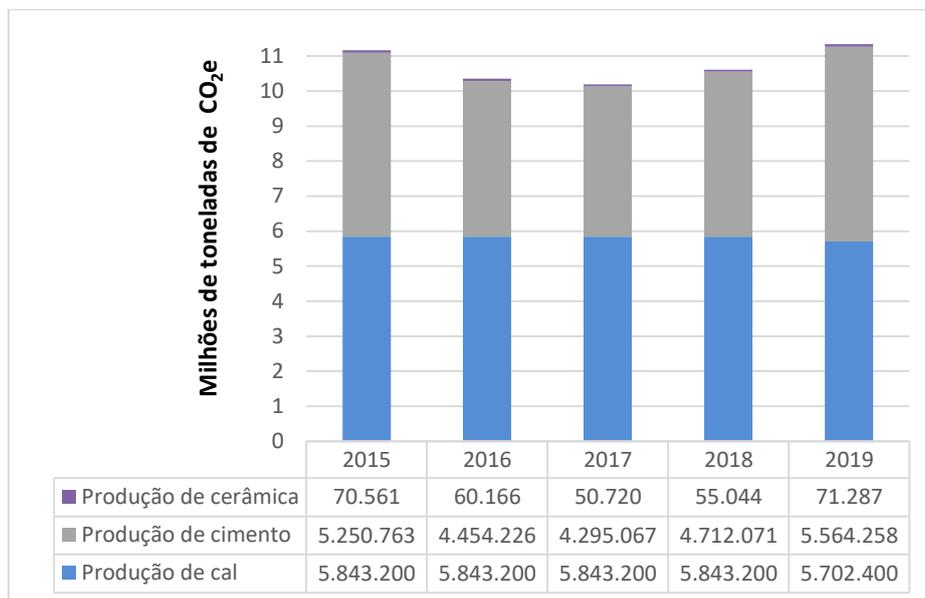
Para quantificar as emissões da indústria de minerais, foram estimadas as emissões dos processos de produção de cimento, cal e cerâmica. Observa-se a predominância da produção de cimento responsável, em média, por 45% das emissões. O estado de Minas Gerais é nacionalmente reconhecido como um importante polo para o setor, com uma geração estimada em 23% da produção nacional, seguido pela geração do estado do Paraná em segundo lugar (12%), e do estado de São Paulo (10%) (SNIC, 2021).

A contribuição da produção de cimento foi em média 45% das emissões da indústria mineral, sendo que, no ano de 2017, foi observado um decréscimo de 18% em relação às emissões de 2015, e de 4% em relação às emissões de 2016. Nos anos posteriores as emissões voltaram a aumentar gradativamente, alcançando sua maior contribuição em 2019, com o equivalente de 5,5 MtCO₂e.

Já a produção de cal contribui em média com 54% das emissões provenientes da indústria mineral, ao contrário da produção de cimento, a produção de cal se manteve constante entre 2015 - 2018, apresentando um decréscimo de 2,4% em 2019.

Por último, as emissões associadas à produção de cerâmica são provenientes dos processos de secagem e queima da matéria prima que além da liberação de CO₂ libera, também, gases que contribuem com a destruição da camada de ozônio e a formação de chuva ácida (NO_x, SO₂ e CO). A participação da indústria cerâmica nas emissões é de apenas 1%, assim como a produção de cimento, em 2017 foi possível observar uma redução de 19% nas emissões comparadas ao ano anterior. O Gráfico 26 apresenta a evolução das emissões da indústria mineral desagregadas para cada ano inventariado.

Gráfico 26 - Evolução das emissões da indústria mineral (2015-2019).



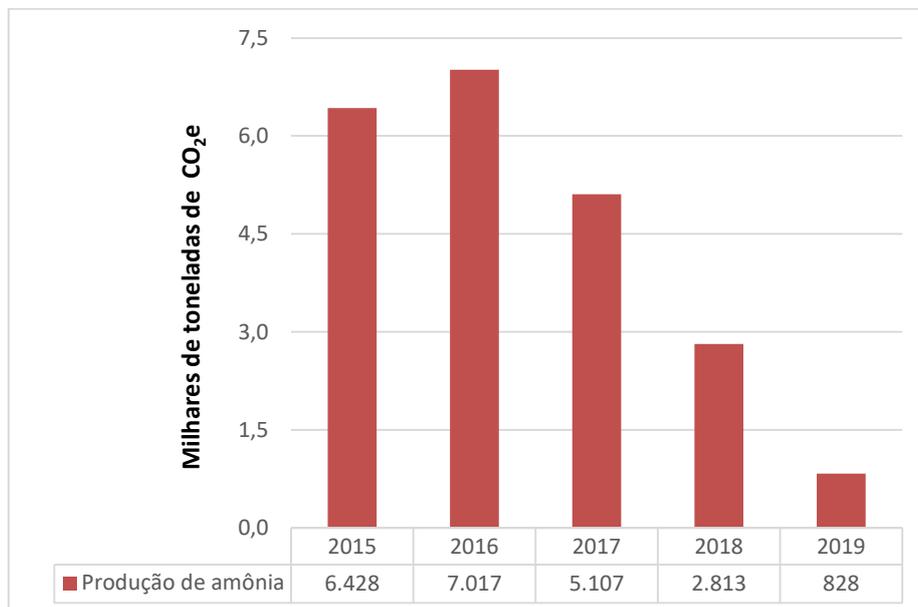
Fonte: Elaboração própria, 2022.

5.2.3.3. Indústria Química

Para quantificar as emissões da indústria química foram estimadas as emissões da produção de amônia no estado de Minas Gerais. A produção de amônia emite CO₂ para a atmosfera como um subproduto gerado pela oxidação do carbono contido na matéria, ressalta-se que esse subproduto (CO₂) sai com um altíssimo nível de pureza o que viabiliza sua captura e utilização como matéria prima em outros processos industriais, sendo uma excelente alternativa para mitigação de GEE.

O subsetor da indústria química representa apenas 0,02% das emissões do setor de IPPU, sendo a que menos contribui no contexto industrial do estado de Minas Gerais. As emissões apresentaram um pico no ano de 2016, com um aumento de 9% em relação ao ano anterior, resultado da maior produção desse químico, entretanto, nos anos subsequentes a produção caiu drasticamente apresentando um decréscimo de 87% nas emissões. Gráfico 27 traz a evolução das emissões do setor de indústrias químicas para o período inventariado.

Gráfico 27 - Evolução das emissões da indústria química (2015-2019).

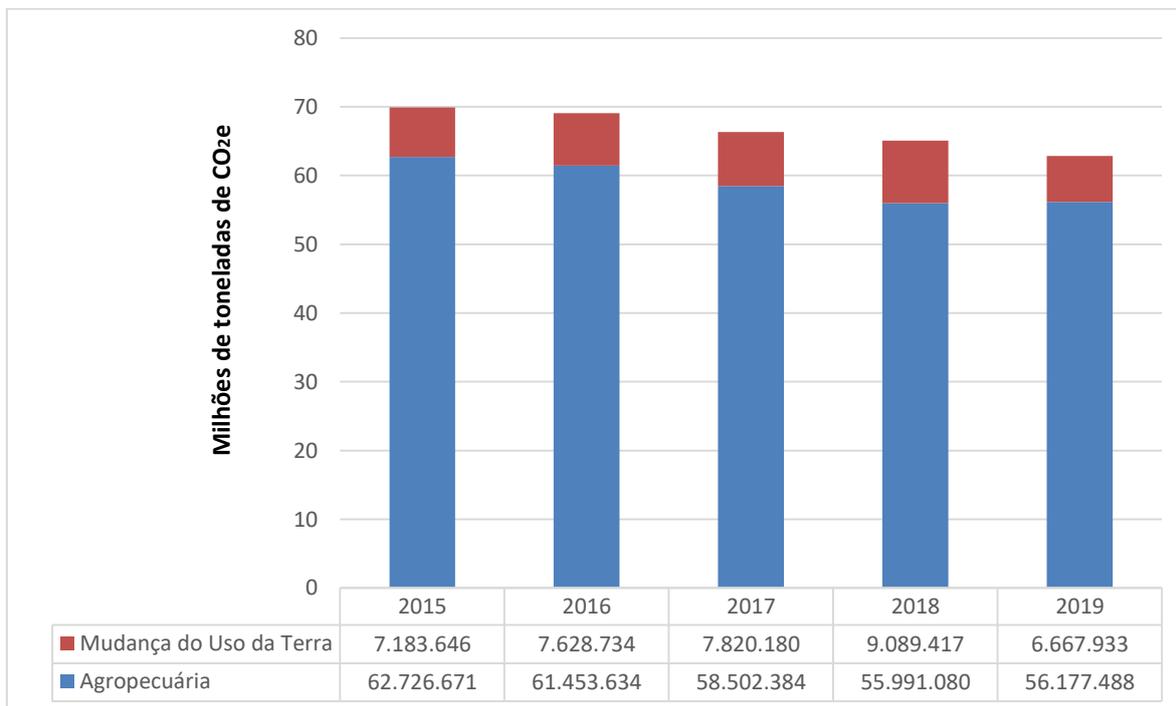


Fonte: Elaboração própria, 2022.

5.2.4. AFOLU

O setor de Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU) é o que mais contribui para as emissões do estado, sendo responsável pela emissão bruta média de 67 MtCO₂e, 51% do total estadual. Os resultados serão discutidos em duas categorias principais, contabilizando as emissões e remoções relacionadas a atividades Agropecuárias e por Mudança do Uso da Terra. Observa-se a predominância das emissões oriundas de atividades de agropecuária, porém ao analisar o resultado das emissões observa-se um decréscimo de 11,6% nas emissões ao longo do período analisado, conforme apresentado no Gráfico 28.

Gráfico 28 - Evolução das emissões brutas de AFOLU entre os anos de 2015 e 2019.



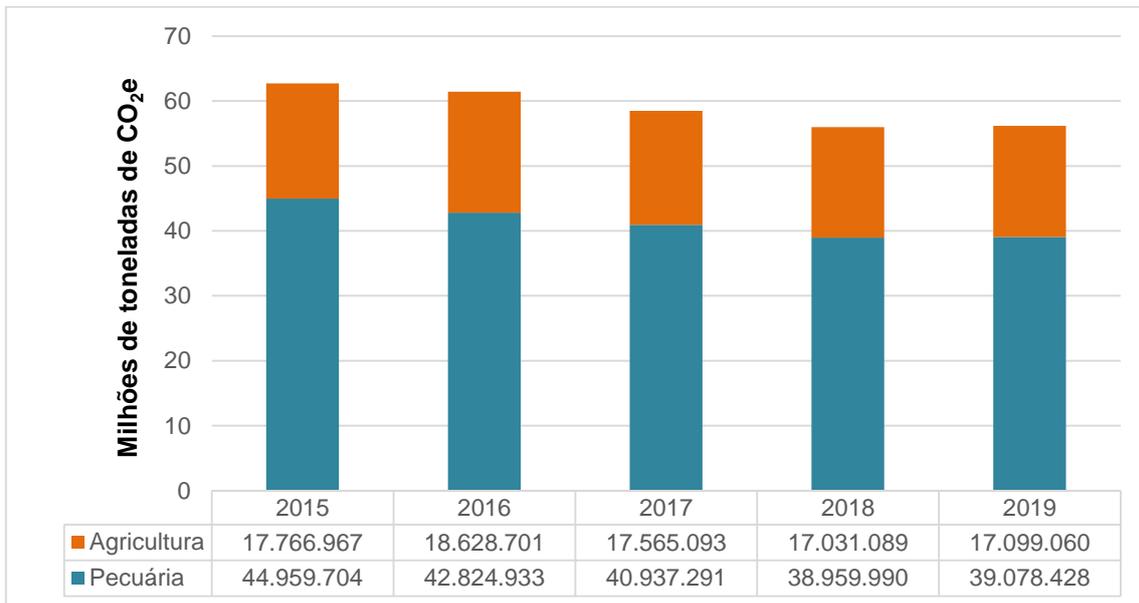
Fonte: Elaboração própria, 2022.

5.2.4.1. Agropecuária

O estado de Minas Gerais destaca-se com o terceiro maior rebanho bovino do Brasil e como o maior produtor de leite, com participação de 27,1% na produção nacional e, é responsável por 6% do volume total de produção de grãos no Brasil (Minas Gerais, 2021b). As atividades de agropecuária envolvem as atividades antrópicas destinadas à criação de animais (pecuária) e ao cultivo da terra (agricultura).

Dentre essas atividades, no estado de Minas Gerais, observa-se que a pecuária representa em média 70,1% das emissões, e a agricultura 29,9% das emissões. O Gráfico 29 apresenta a evolução das emissões para as atividades agrícolas e de pecuária identificadas no Estado, essas atividades foram responsáveis pela média de 59 milhões de toneladas de CO₂e.

Gráfico 29 - Evolução das emissões de Agropecuária entre os anos de 2015 e 2019.



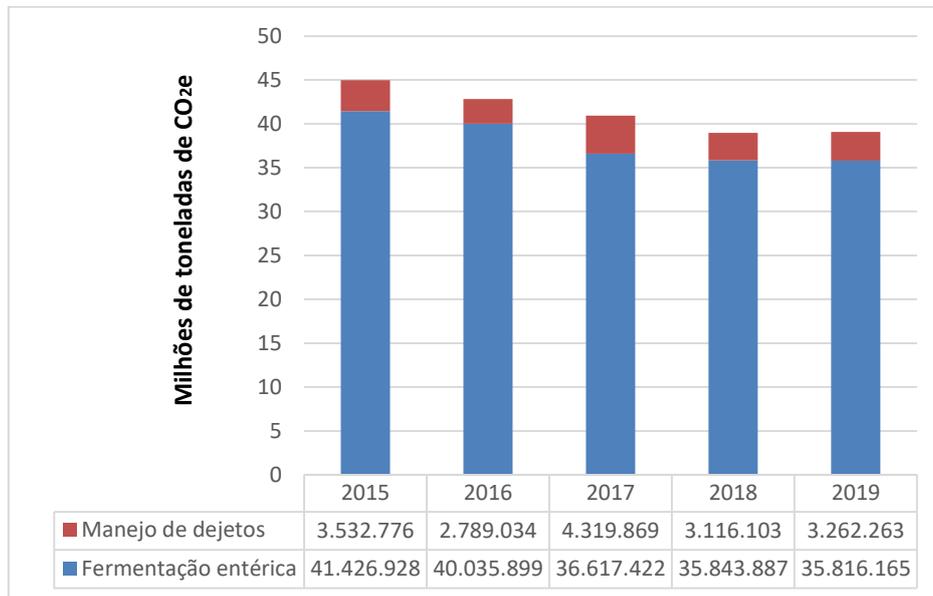
Fonte: Elaboração própria, 2022.

Dentre as atividades de Agropecuária são contempladas emissões relacionadas a uma variedade de atividades, como a fermentação entérica, manejo de dejetos, fertilizantes sintéticos e orgânicos, decomposição e queima de resíduos de produção agrícolas, calagem, produção de arroz irrigado, solos manejados e renovação de pastagens.

5.2.4.1.2. Pecuária

As emissões da subcategoria de pecuária estão relacionadas com a fermentação entérica e o manejo de dejetos de rebanhos no estado de Minas Gerais. O Gráfico 30 apresenta a evolução desta subcategoria no período inventariado, sendo possível observar uma redução na emissão por fermentação entérica, após 2016.

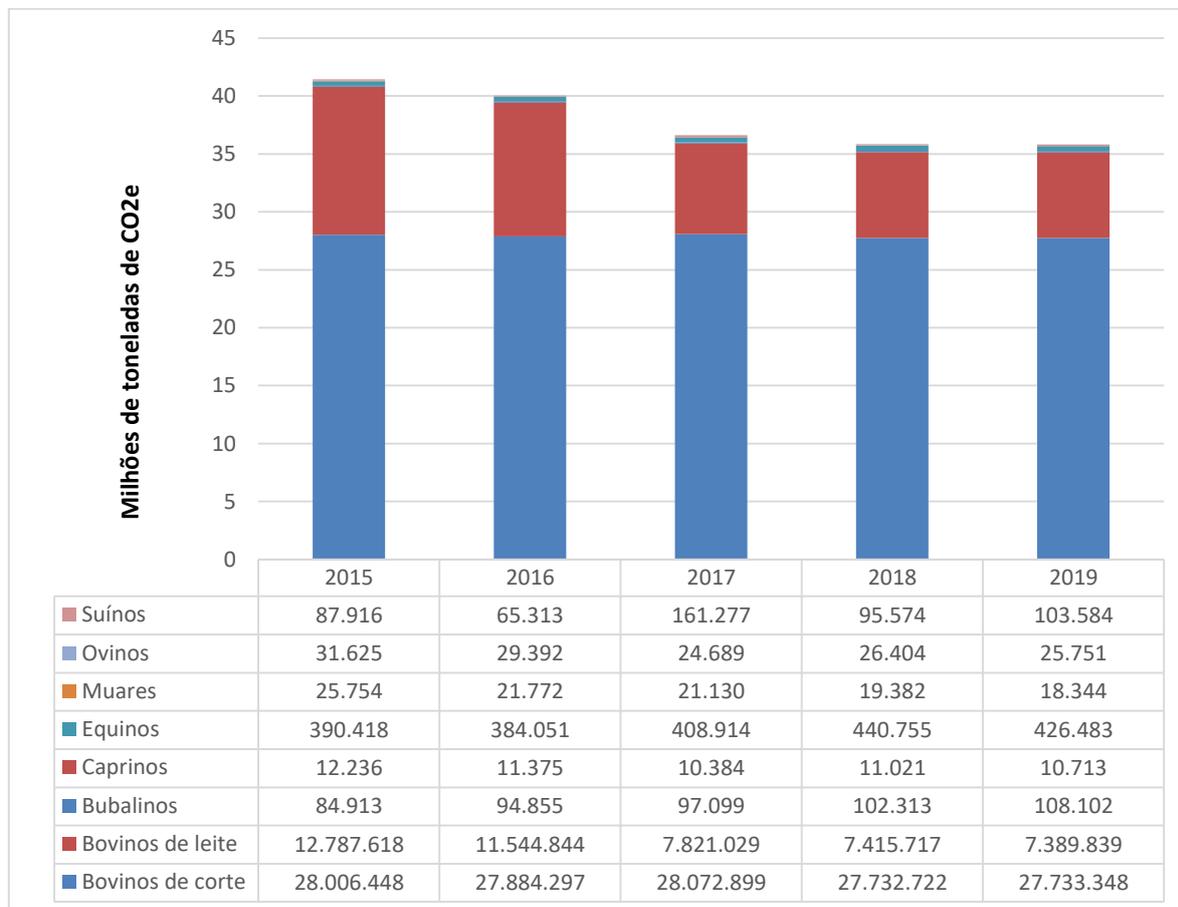
Gráfico 30 - Evolução das emissões de Pecuária entre os anos de 2015 e 2019.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

Foram identificadas as criações de bovinos, suínos, aves, caprinos, equinos e muares, seguindo as especificações de cálculo do IV Inventário Nacional, de modo que as emissões das atividades pecuárias estão estreitamente relacionadas à quantidade de cabeças dos rebanhos. O Gráfico 31 apresenta as emissões de fermentação entérica para o total de cada rebanho identificado no estado de Minas Gerais. Destaca-se que 99% das emissões observadas são oriundas das diferentes categorias de rebanho de bovinos de leite e de corte.

Gráfico 31 - Emissões de fermentação entérica por tipo de rebanho para os anos de 2015 e 2019.



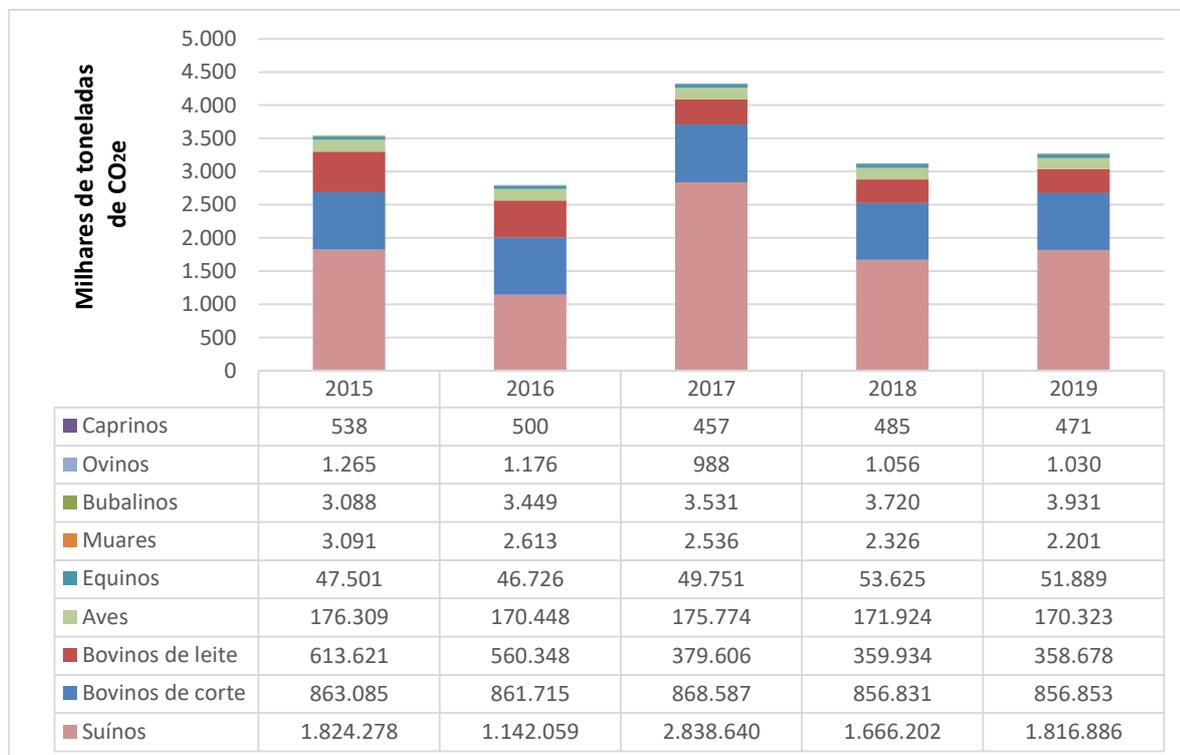
Fonte: Elaboração própria, 2022.

De forma geral as emissões de fermentação entérica foram diminuindo ao longo dos anos analisados, devido a diminuição das cabeças dos rebanhos no estado. Nota-se que quanto maior o tempo que o animal fica no pasto, maior é a sua contribuição para o aumento das emissões de CH₄ provenientes da fermentação entérica.

As emissões associadas ao manejo de dejetos de rebanhos são apresentadas no Gráfico 32, nota-se que a maior participação está relacionada ao manejo de dejetos suínos, com 55% das emissões, seguido por bovinos de corte (25%) e bovinos de leite (13%). O ano de 2017 apresenta um pico nas emissões dessa atividade com um aumento de 55% nas emissões, isso ocorre porque nesse ano a população de suínos teve um aumento de 158%. Em 2016 a população era de 1.081.953 cabeças

aumentando para 2.793.246 cabeças em 2017. Em 2018, as emissões associadas ao manejo de dejetos tiveram um decréscimo de 28% reflexo, também, da diminuição nas emissões de suínos.

Gráfico 32 - Emissões pelo manejo de dejetos por tipo de rebanho nos anos de 2015 e 2019.



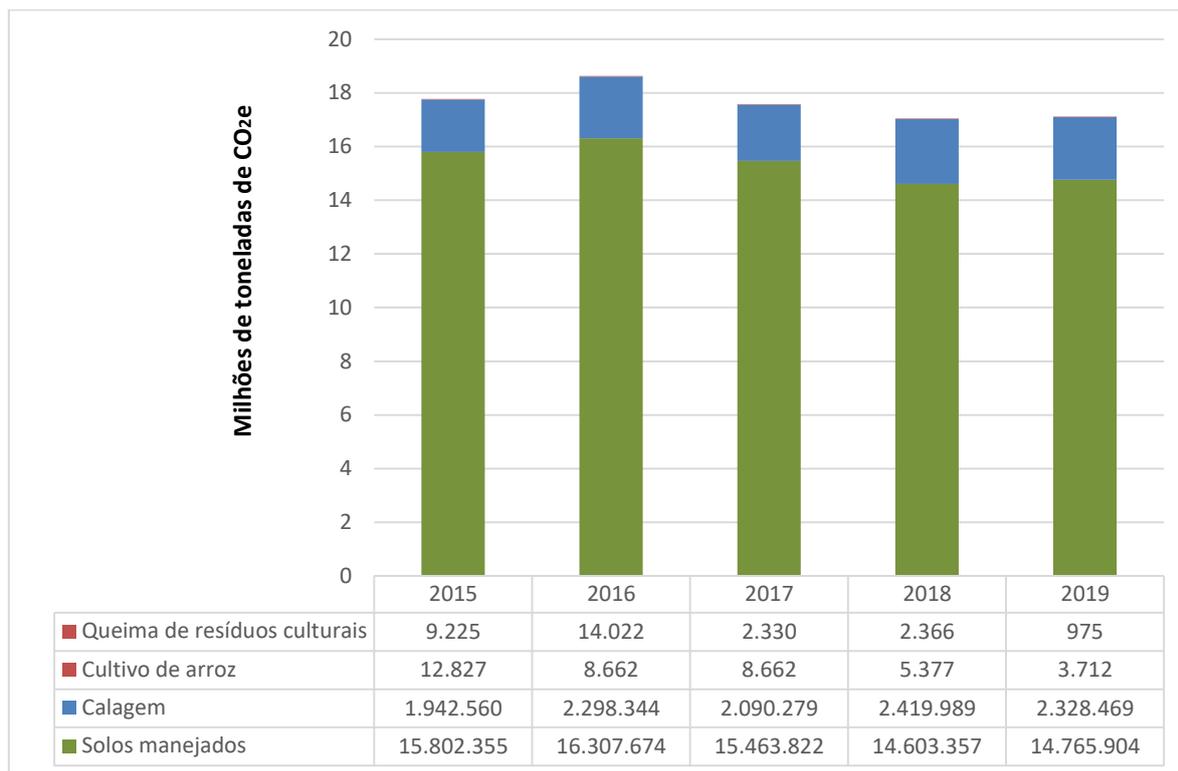
Fonte: Elaboração própria, 2022.

5.2.4.1.2. Agricultura

Nessa subcategoria são contempladas as emissões relacionadas com as atividades de calagem, cultivo de arroz, queima de resíduos culturais e solos manejados. O

Gráfico 33 apresenta a evolução desta subcategoria no período analisado.

Gráfico 33 - Evolução das emissões de Agricultura entre os anos de 2015 e 2019.

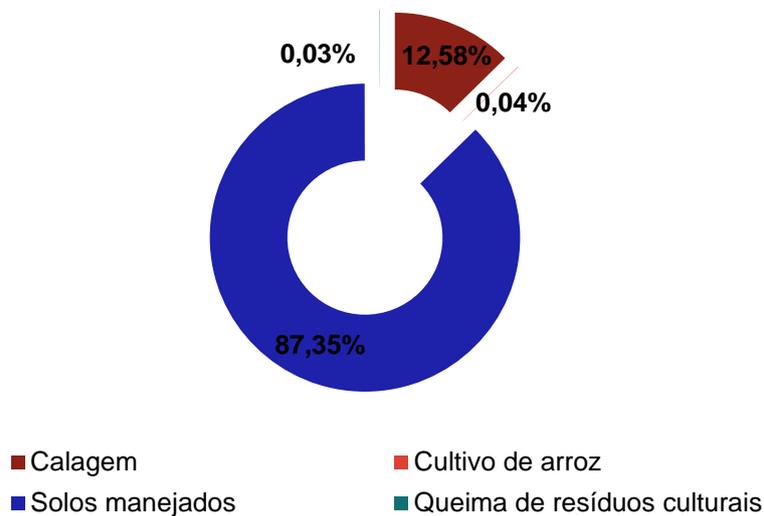


Fonte: Elaboração própria, 2022.

O ano de 2016 apresentou a maior emissão dentre os anos inventariados, com o equivalente a 18,6 MtCO₂e, valor 9% maior que o ano de 2018 (17,5 MtCO₂e), que por sua vez, apresentou a menor emissão. As atividades relacionadas a solos manejados apresentam maior contribuição nas emissões, representando 87% das emissões. As emissões relacionadas ao cultivo de arroz irrigado, importante fonte de emissão de CH₄, apresentou a menor contribuição, esse perfil de emissões é justificado pelo decréscimo dessa prática de cultivo ao longo dos anos. A calagem representa aproximadamente 12,6% das emissões com a contribuição principalmente do uso de calcário para

diminuir a acidez do solo. O Gráfico 34 apresenta o perfil médio de emissões relacionadas com atividades de Agricultura.

Gráfico 34 - Perfil médio das emissões de Agricultura no estado de Minas Gerais (2015-2019).



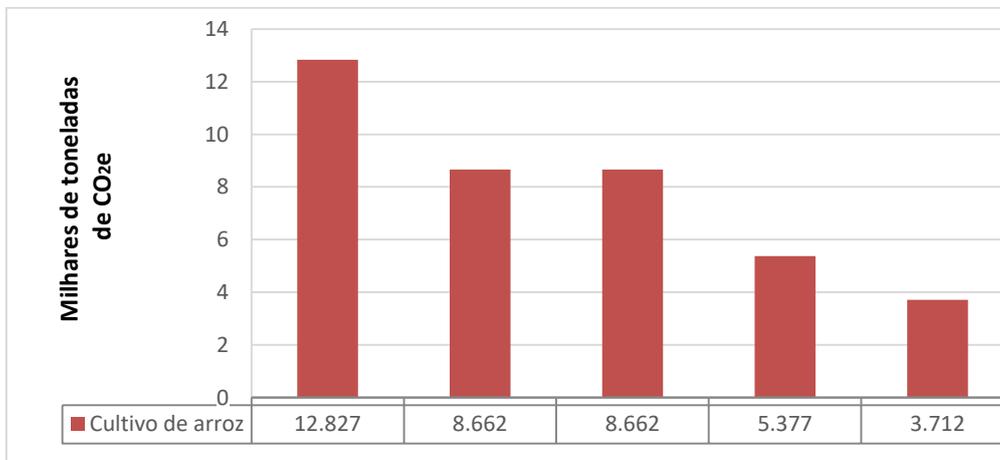
Fonte: Elaboração própria, 2022.

Cultivo de arroz

As emissões associadas ao cultivo de arroz no estado de Minas Gerais representam 0,04% das emissões da agricultura, conforme apresentado no Gráfico 34. Segundo os dados obtidos pela Embrapa Arroz e Feijão (2021), o cultivo de arroz de várzea não é mais observado no estado de Minas desde 2012.

O metano é o principal gás de efeito estufa relacionado a essa prática de cultivo que ocorre predominantemente durante a safra, período em que o solo fica alagado. Essas emissões não têm relação direta com o arroz, mas é produzida pelo solo que fica submerso com ausência de oxigênio. Observa-se no Gráfico 35 uma redução ao longo dos anos, observa-se um decréscimo de 71% nas emissões ao longo dos anos analisados, justificada pela redução progressiva da área de cultivo do arroz irrigado.

Gráfico 35 - Evolução das emissões pelo cultivo de arroz irrigado no estado de Minas Gerais, 2015-2019.

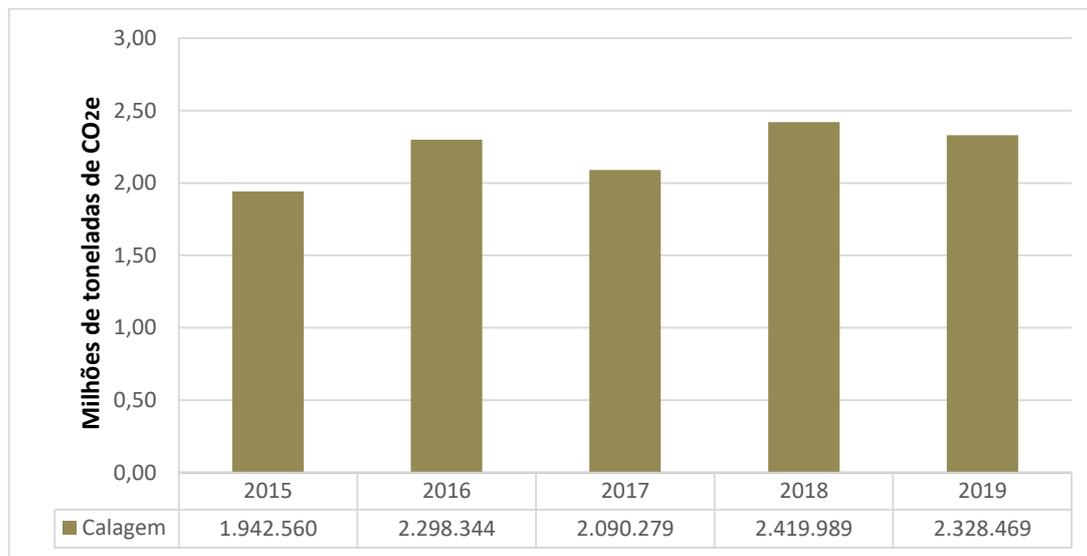


Fonte: Elaboração própria, 2022.

Calagem

A aplicação de calcário no solo para neutralizar a acidez e aumentar sua produtividade, apresenta como consequência a liberação de CO₂ na atmosfera. No estado de Minas Gerais, a calagem representa 13% das emissões, com média de 2,2 MtCO₂e por ano no período inventariado. Durante o período inventariado as emissões de calagem variaram de 1,9 MtCO₂e até 2,4 MtCO₂e entre 2015 e 2019, conforme pode ser observado no Gráfico 36.

Gráfico 36 - Evolução das emissões de calagem no estado de Minas Gerais, 2015-2019.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

Observa-se um aumento no consumo de calcário no estado no ano de 2016 e uma redução no ano de 2017, ocasionando um aumento de 18,3% nas emissões e uma consequente redução de 9%. O ano de 2018 apresenta um pico nas emissões com o equivalente a 2,4 MtCO₂e representando um aumento de 15,7% em relação ao ano anterior.

Solos Manejados

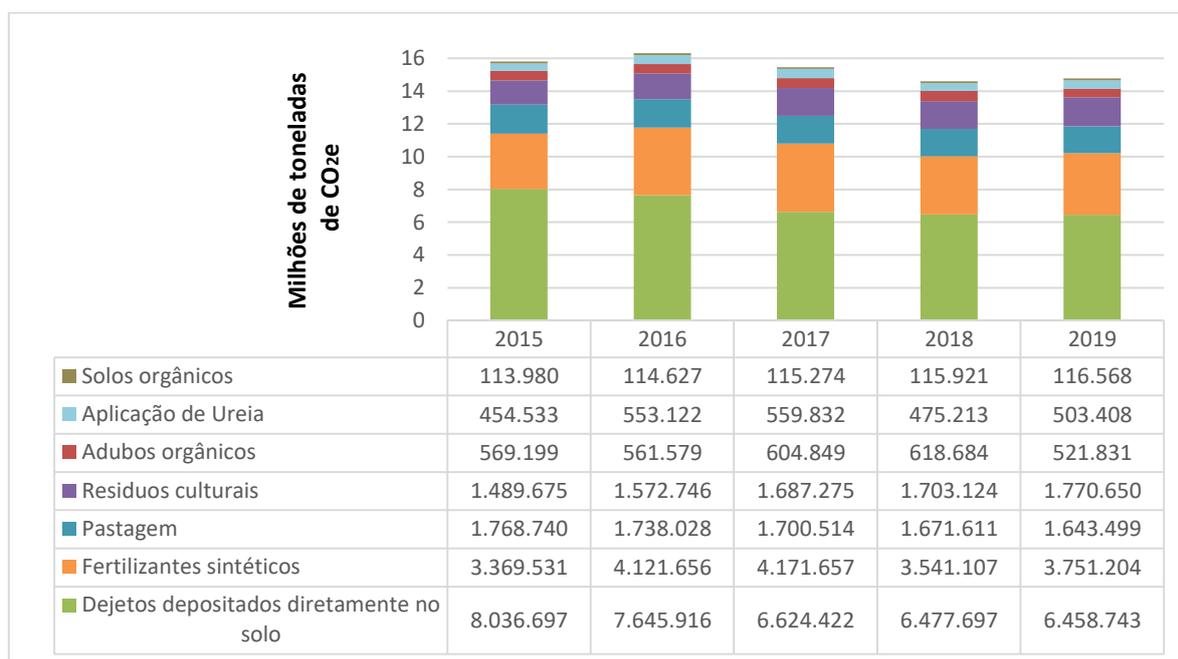
As estimativas de emissões de solos manejados⁵ contabilizam as emissões diretas e indiretas de CO₂ e N₂O das atividades que contemplem o uso de fertilizantes sintéticos (ureia e outros fertilizantes), adubos orgânicos (uso de torta-filtro, vinhaça e esterco), dejetos depositados diretamente no solo, solos orgânicos (manejo agrícola e de pastagem, e reflorestamento), resíduos culturais agrícolas e pastagem (renovação de pastagens⁶).

⁵ Estimativa das emissões antropogênicas de N₂O diretas e indiretas por deposição atmosférica, volatilização e/ou lixiviação. Essas emissões são provenientes do aumento da quantidade de nitrogênio (N) no solo em função do uso de insumos e do manejo de plantas e do solo e, estimativa das emissões antropogênicas de CO₂ da aplicação de ureia.

⁶ Essas estimativas compreendem a biomassa de pastagens na ocasião da renovação, levando em consideração a incorporação de resíduos da renovação de pastagens pela mineralização do N associado à perda de matéria orgânica do solo. São utilizados dados de atividade de pastagens que permaneceram como pastagem, ou seja, áreas que não são identificadas alterações no uso da terra (MCTI,2020).

As emissões associadas a solos manejados contabilizam 20% das emissões do estado com média de 15,3 MtCO₂e por ano. O ano de 2016 apresentou a maior emissão com o equivalente a 16,3MtCO₂e, reflexo do aumento na aplicação de ureia em 22% e do consumo de fertilizantes sintéticos em 31%. O Gráfico 37 apresenta a evolução das emissões de solos manejados para o estado de Minas Gerais desagregados por fontes de emissão.

Gráfico 37 - Evolução das emissões de solos manejados por fonte para o estado de Minas Gerais, 2015-2019.



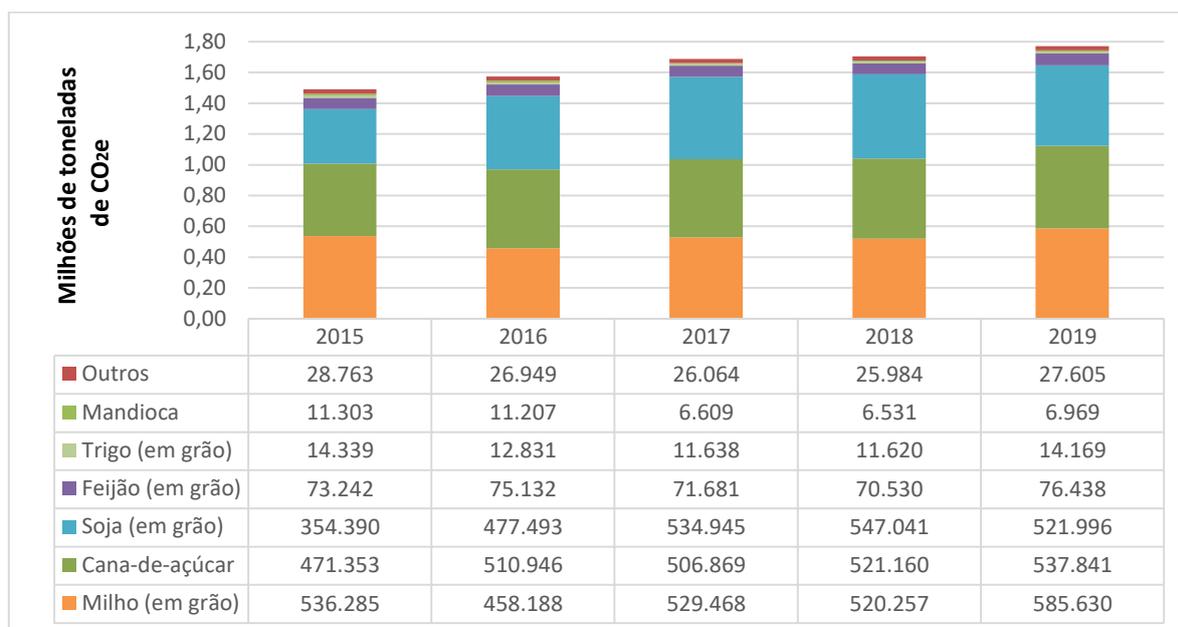
Fonte: Elaboração própria, 2022.

Observa-se que os dejetos não manejados referidos como dejetos depositados diretamente do solo são a maior fonte de emissão correspondendo a 46% das emissões, a segunda maior fonte de emissão são oriundas da aplicação de fertilizantes sintéticos com 25% das emissões, seguido pelas emissões de resíduos culturais (11%) e pastagem (11%), essas atividades juntas correspondem a 93% das emissões de solos manejados.

O estado de Minas Gerais é responsável por 6% do volume total de produção de grãos no Brasil, sendo que as culturas de milho e soja representam cerca de 60% dos hectares plantados no estado (PAM - SIDRA, 2020). Ao analisar a contribuição dessas culturas, o milho contribui com 32% e a soja com 30% das emissões oriundas de resíduos culturais. É identificado um aumento

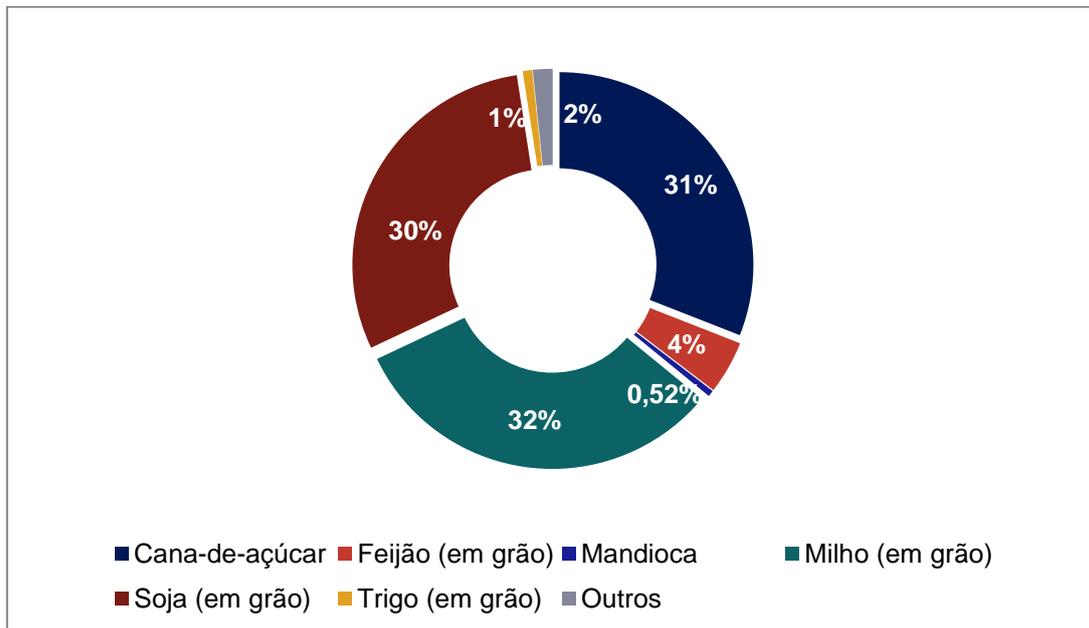
progressivo das emissões, partindo do patamar de 1,4 MtCO₂e em 2015 atingindo 1,7 MtCO₂e em 2019. No Gráfico 38 é possível observar a evolução das emissões das principais culturas geradoras de resíduos culturais para o estado de Minas no período inventariado.

Gráfico 38 - Emissões de resíduos culturais por tipo de cultura (2015-2019).



Fonte: Elaboração própria, 2022.

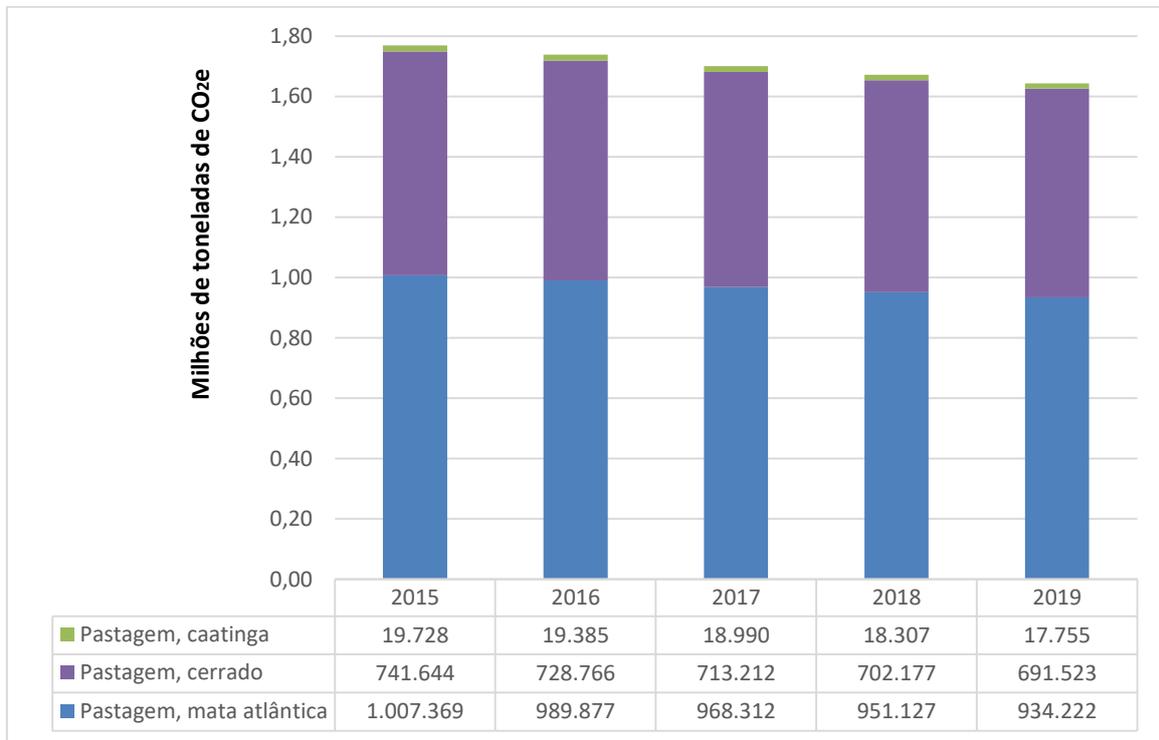
Gráfico 39 - Perfil das emissões de resíduos culturais no estado de Minas Gerais.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

As emissões relacionadas à recuperação de pastagens, no estado de Minas Gerais, tiveram uma pequena redução de 7,16% ao longo dos anos, conforme pode ser verificada no gráfico seguinte. A renovação do bioma Mata Atlântica tem a maior contribuição para as emissões, com média de 57% das emissões, o Gráfico 40 representa a evolução das emissões.

Gráfico 40 - Emissões pela renovação de pastagens por tipo de bioma, 2015-2019.

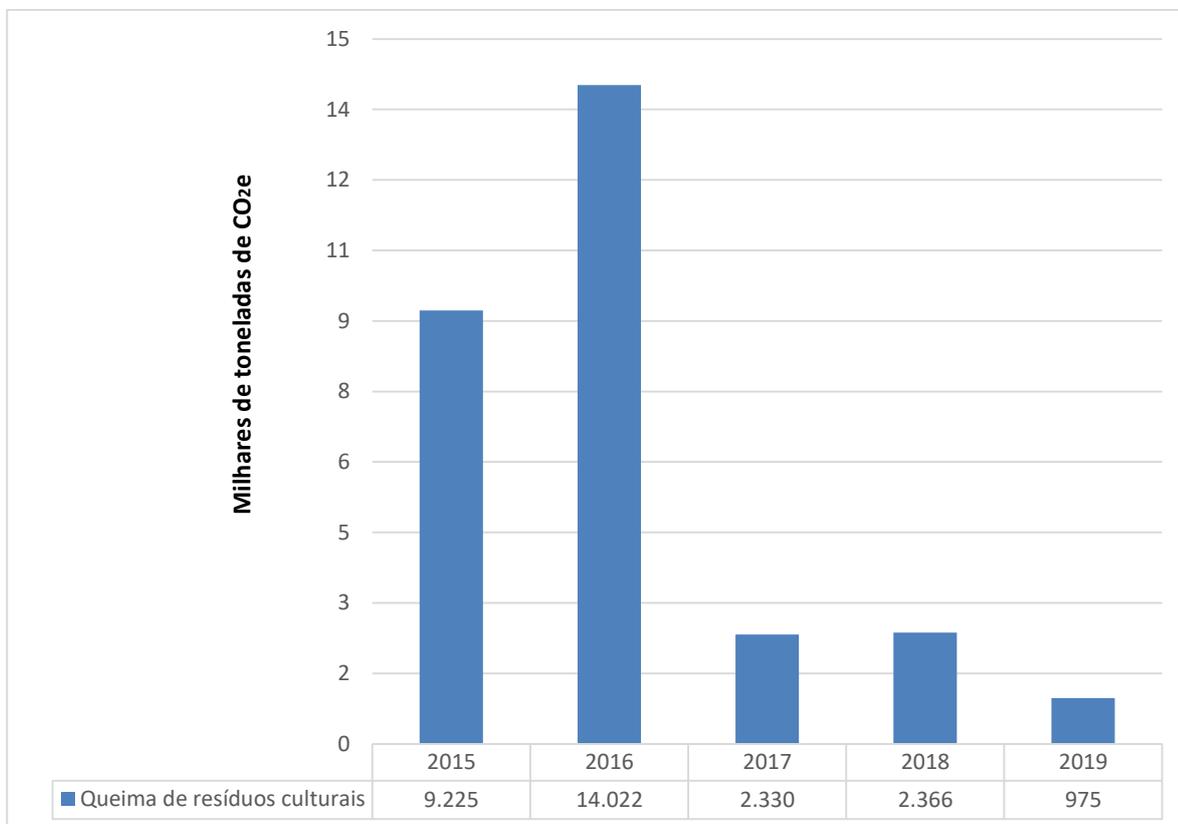


Fonte: Elaboração própria, 2022.

Queima de resíduos culturais

Nessa seção são apresentadas as emissões da queima de resíduos no cultivo de cana-de-açúcar, cuja colheita pode ser realizada de forma automatizada ou de forma manual. Na colheita automatizada, as máquinas cortam a parte acima do solo da planta separando as folhas do colmo de forma mecanizada, geralmente, não há utilização do fogo. No entanto, na colheita manual faz uso do fogo visando aumentar o rendimento do corte manual através da queima prévia para suprimir as folhas do colmo (França,2013). As emissões relacionadas com essa prática são pouco significativas, atingindo um pico de emissão em 2016, com posterior redução até 2019. A contribuição dessa categoria pode ser observada no Gráfico 41.

Gráfico 41 - Evolução das emissões da queima de resíduos culturais da cana-de-açúcar no estado de Minas Gerais no período de 2015 - 2019.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

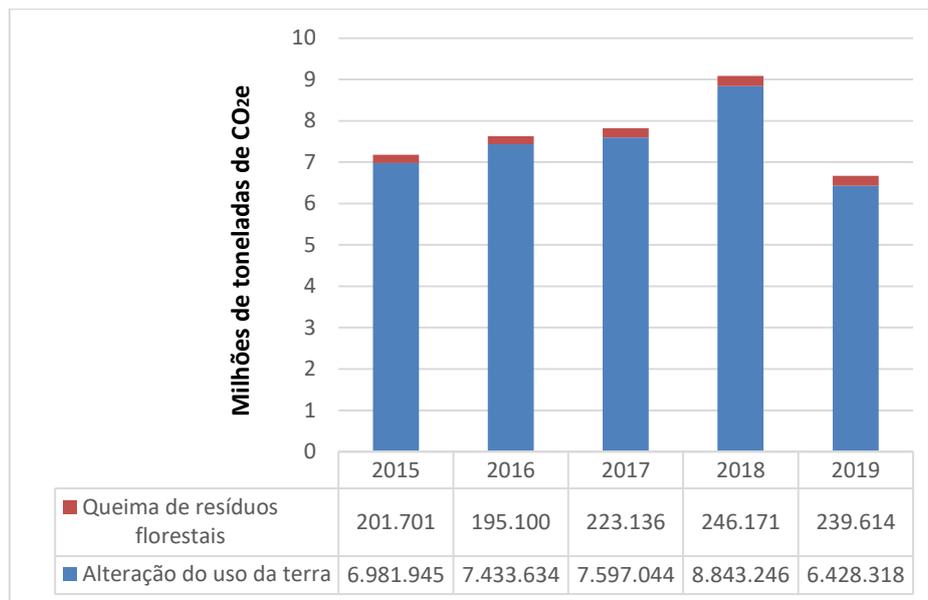
5.2.4.2. Mudança e Uso da Terra (MUT)

Nesta categoria são contempladas emissões e remoções pela ganha ou perda de carbono relacionada com a alteração ou manutenção do uso da terra. Além disso, também são contempladas emissões pelo processo de queima de resíduos florestais associada ao desmatamento.

Em termos de evolução das emissões brutas, observa-se que o setor foi responsável pela emissão média de 7,6 milhões de toneladas de CO₂e, com um períodos de crescimento de 2015 a 2018, onde se atingiu o patamar de emissões de 9 MtCO₂e, com posterior diminuição em 2019, cuja contribuição foi de 6,6 milhões de toneladas de CO₂e

Esse comportamento está principalmente associado com o aumento das taxas de desmatamento até 2018, que contribui tanto para as emissões relacionadas com a alteração do uso do solo e as oriundas de resíduos florestais. O Gráfico 42 apresenta os resultados consolidados para o setor.

Gráfico 42 - Emissões brutas pela mudança do uso da terra no estado de Minas Gerais, 2015-2019.

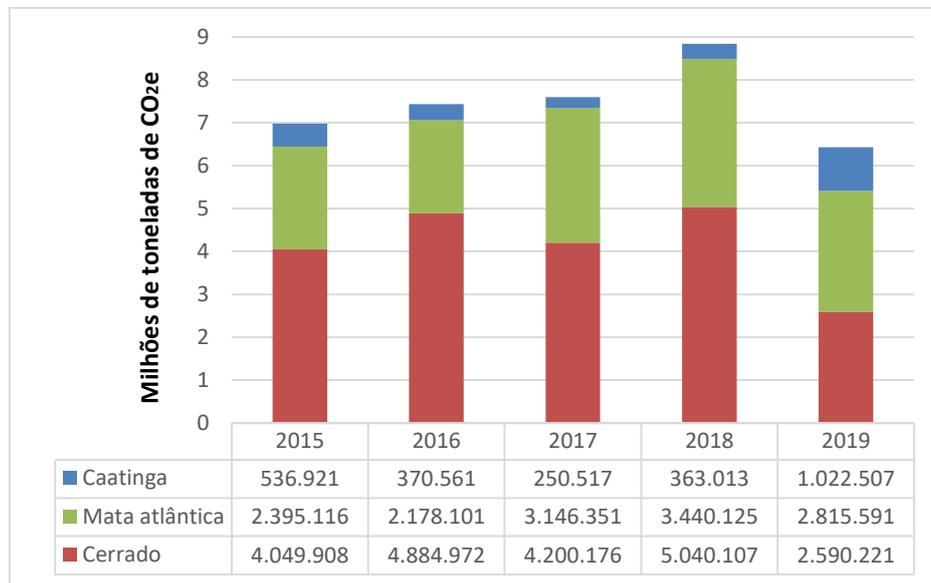


Fonte: Elaboração própria, 2022.

5.2.4.2.1. Alteração do uso do solo

Avaliando-se especificamente as emissões pelo uso da terra, as quais podem ser desagregadas em desmatamento e outras alterações de uso que geram déficit no estoque de carbono, como por exemplo a transição do uso de silvicultura para o uso agropecuário, foi possível concluir que essa é a categoria que mais contribui para as emissões do subsetor. O Gráfico 43 apresenta as emissões por bioma para cada um dos anos do inventário.

Gráfico 43 - Emissões brutas desagregadas por bioma oriundas da mudança do uso da terra no estado de Minas Gerais, 2015-2019.

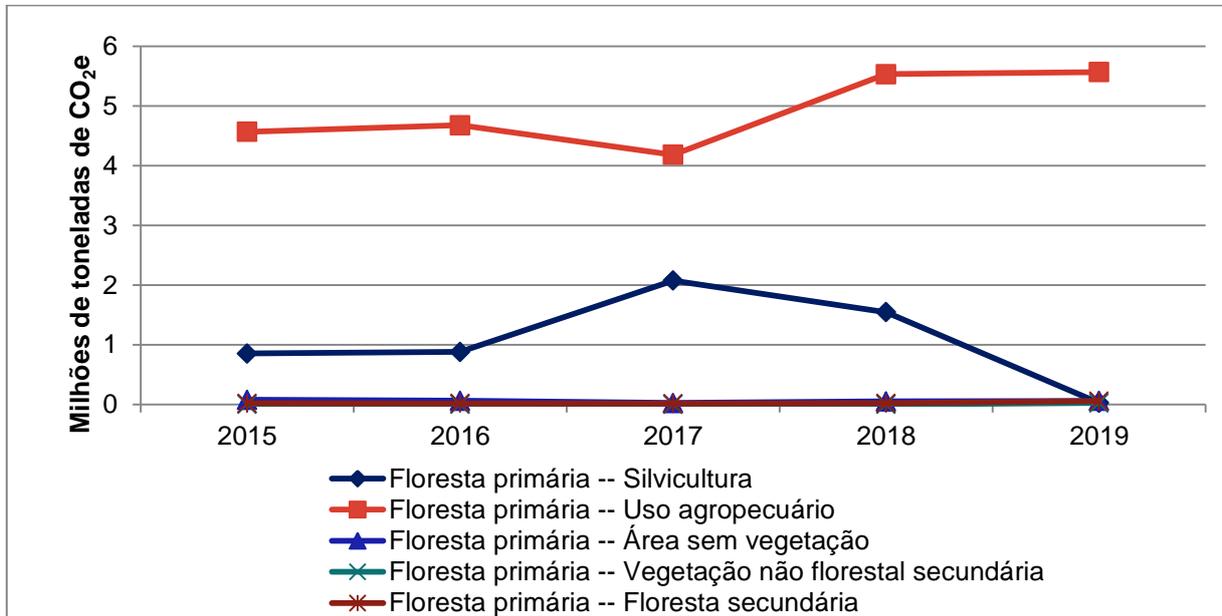


Fonte: Elaboração própria, 2022.

No período de 2015 a 2018 as emissões relacionadas à alteração do uso da terra no Cerrado foram mais significativas, com uma média de 59% das emissões e a Mata Atlântica com 36%. No entanto, em 2019 foi observado um aumento das emissões relacionadas com a mudança do uso da terra na Mata Atlântica, que representaram 44% das emissões para esse ano, enquanto o Cerrado 40% e a Caatinga 16%.

Outro aspecto importante para ser destacado é que essas emissões estão majoritariamente relacionadas com o desmatamento, em especial a supressão da vegetação primária e a transição de suas áreas para uso agropecuário, conforme pode ser observado no Gráfico 44.

Gráfico 44 - Emissões pela transição de floresta primária para diferentes tipos de uso da terra no estado de Minas Gerais, 2015-2019.

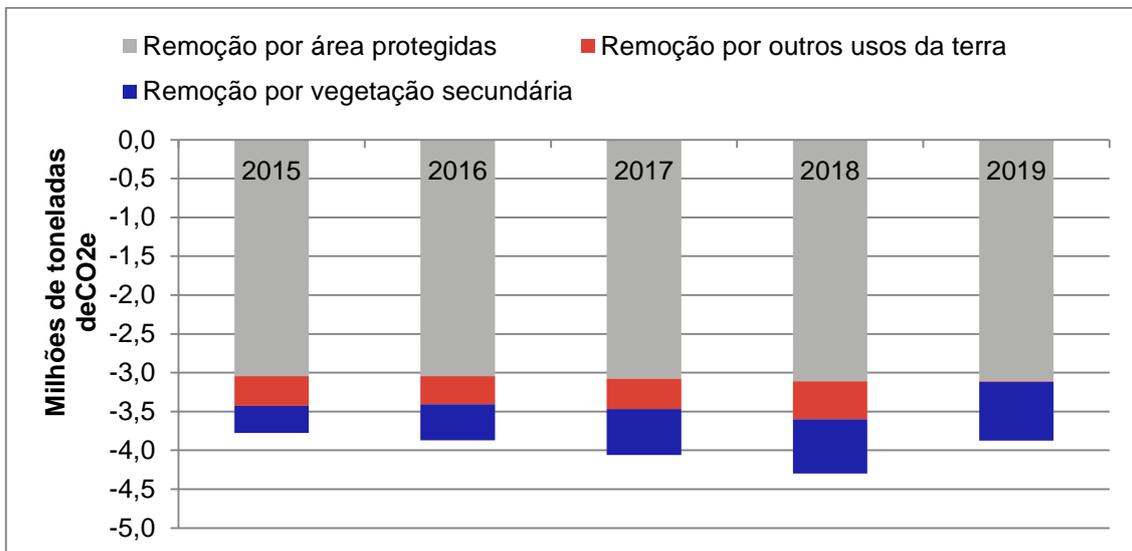


Fonte: Elaboração própria, 2022.

Por fim, em relação ao do uso da terra, também são contabilizadas remoções promovidas pela manutenção de Unidades de Conservação e Terra Indígenas, pela alteração do uso da terra que gera um aumento no estoque de carbono (a transição de pastagem e culturas agrícolas para silvicultura, por exemplo) e pela regeneração da vegetação secundária. Em 2015, estimou-se uma remoção de 3,7 MtCO₂e, com gradativo crescimento até 2018, ano em que atingiu o patamar de 4,2 MtCO₂e de remoções, seguindo de uma redução em 2019. Destaca-se que para todos os anos analisados, a remoção pela manutenção de áreas protegidas apresentou maior contribuição, conforme pode ser observado no .

Gráfico 45.

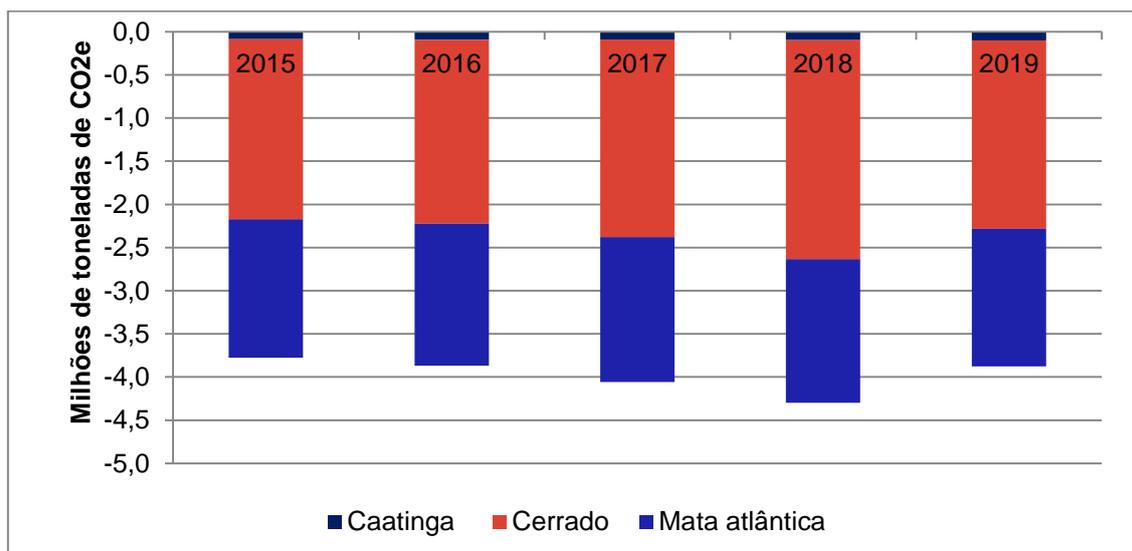
Gráfico 45 - Remoções de CO₂e oriundas da mudança do uso da terra para o estado de Minas Gerais, 2015-2019.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

Em relação à contribuição dessas remoções por tipo de bioma, destaca-se, em especial, o papel do cerrado, com contribuição de 52%. O Gráfico 46 apresenta os resultados desagregados por tipo de bioma.

Gráfico 46 - Remoções de CO₂e oriundas da mudança do uso da terra para o estado de Minas Gerais, por bioma, 2015-2019.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

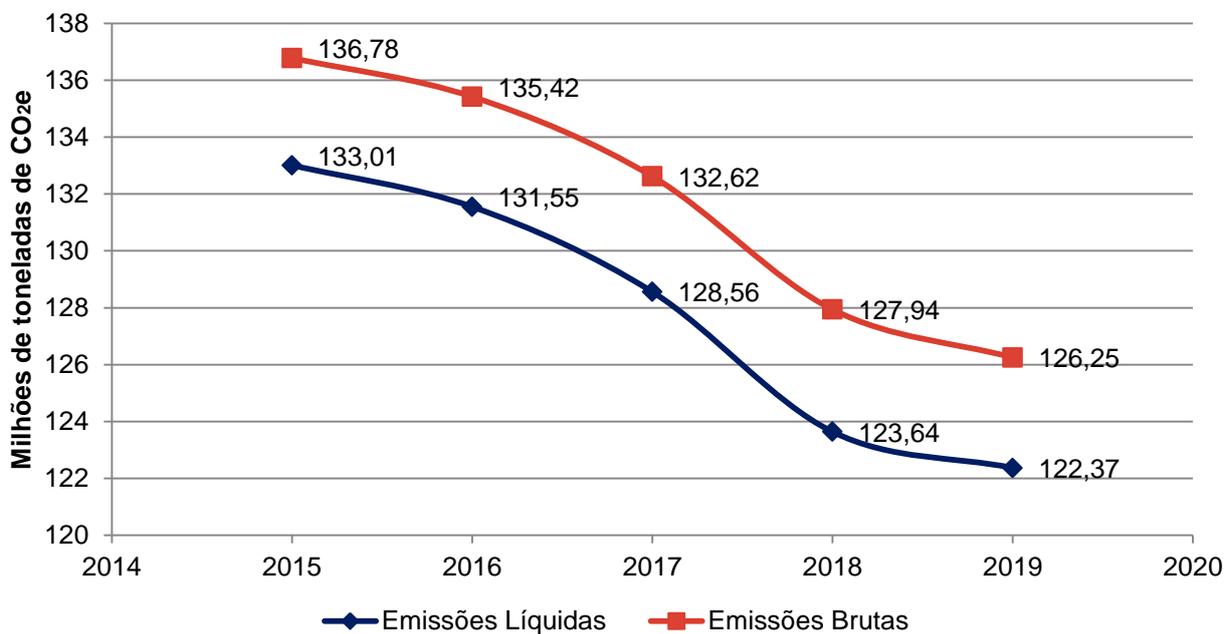
5.2.4.2.2. Queima de resíduos florestais

A queima de resíduos florestais, associadas ao desmatamento, foi responsável pela emissão equivalente de 0,2 MtCO₂e em 2015, com gradativo aumento até 2018, no qual se atingiu o patamar de 0,26 MtCO₂e, seguido de um decréscimo entre os anos de 2018 e 2019, onde se estima a contribuição de 0,23 MtCO₂e. Como essa é uma atividade associada ao desmatamento, foi observado um comportamento de emissões relacionado com as taxas de supressão de florestas primárias.

5.3. Emissões líquidas totais

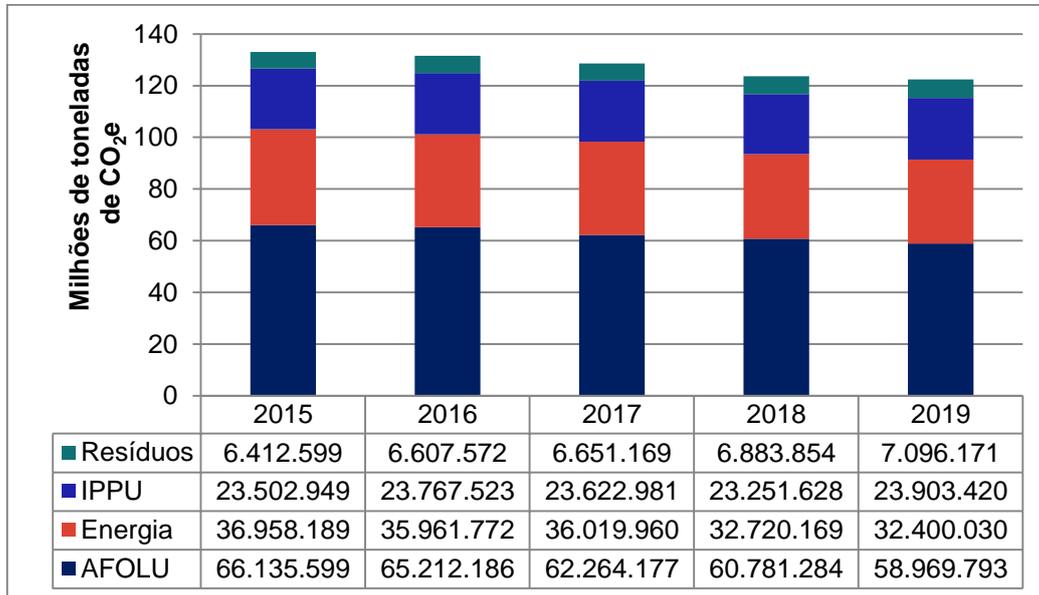
Considerando as emissões brutas e remoções previamente apresentadas, as emissões líquidas totais no estado de Minas Gerais foram de 133 MtCO₂e em 2015, com gradativa redução até 2019, ano em que se atinge a contribuição de 122 MtCO₂e, o que representa uma redução de 7,9%. O Gráfico 47 apresenta os resultados consolidados desagregados por setor.

Gráfico 47 - Evolução das emissões líquidas e brutas no estado de Minas Gerais, 2015-2019.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

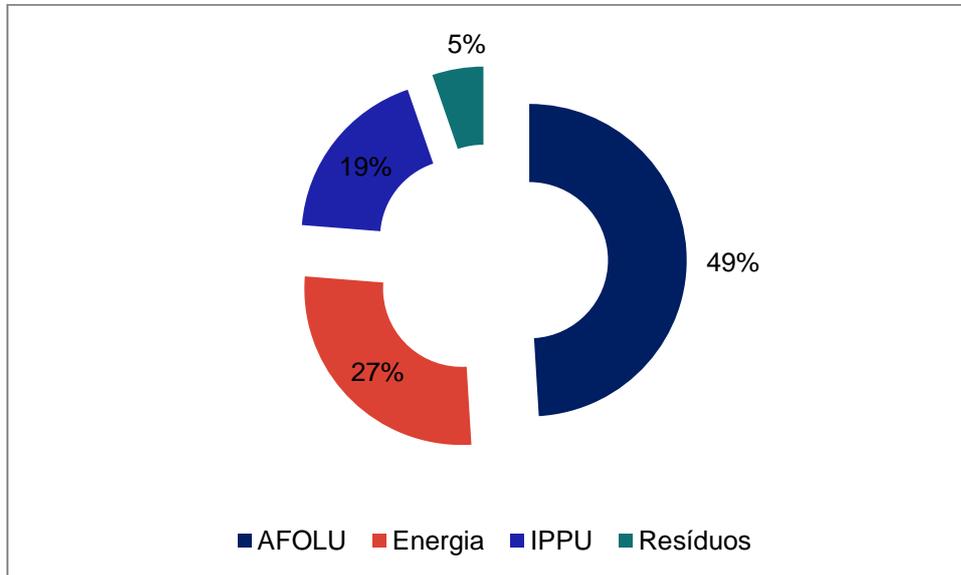
Gráfico 48 - Evolução das emissões líquidas desagregadas por setor para o estado de Minas Gerais, 2015-2019.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

Apesar da contribuição das remoções no perfil de emissões de estado, o mesmo se mantém para o período analisado, onde é possível observar que uma predominância de emissões relacionadas com atividades de agropecuária e mudança do uso da terra, com contribuição de cerca de 49%. O setor de Energia se mantém como o segundo maior contribuinte, com 27%, seguidos dos setores de IPPU e Resíduos. O perfil do estado considerando as emissões líquidas pode ser observado no Gráfico 49.

Gráfico 49 - Perfil de emissões no estado de Minas Gerais, considerando as emissões líquidas, 2015-2019.



Fonte: Elaboração própria, 2022.

6. LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

Em geral, buscou-se manter consistência metodológica com o Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa⁷ a fim de obter resultados que dialogam. A equipe técnica do estado participou ativamente da obtenção de dados e revisão dos resultados, de modo que foi possível conseguir dados específicos do estado, o que trouxe um nível de robustez e consistência para as estimativas de emissões e remoções desse inventário.

No entanto, foram identificadas limitações e as seguintes dificuldades na obtenção de dados:

- Os dados referentes ao consumo e produção de energia apresentados são oriundos do Balanço Energético estadual até o ano de 2017, para os anos seguintes as informações foram projetadas com base na expertise da equipe técnica do estado;
- Dificuldade na obtenção dos dados específicos de produção de cal, sendo necessário projetar a informação com base em dados nacionais;
- Ausência de estimativas consistentes sobre a quantidade de resíduos orgânicos encaminhados para o tratamento biológico;
- Ausência de dados para o nível estadual referentes à indústria de aparelhos eletrônicos, o uso de equipamentos de energia elétrica (utilizados na infraestrutura de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica), fabricação de espumas, fabricação e Uso de aerossóis, fabricação de extintores de incêndio e fabricação de equipamentos de refrigeração e ar condicionado, não sendo possível contabilizá-los;
- Ausência de informações anuais sobre as matrizes de transição do uso da terra no estado, adotando-se como referência os dados fornecidos pelo MapBiomas, os quais foram posteriormente estabilizados com base na expertise da equipe técnica do estado.

A fim de enfrentar esses desafios em novos inventários, sugere-se a estruturação de um banco de dados setoriais através da compilação de dados em uma base específica para a agenda climática

⁷ Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene>

ou criação de mecanismos para mensurar os dados que são necessários para a elaboração do inventário.

Outro ponto importante para que o inventário consiga representar com maior detalhamento as atividades de remoção e práticas de baixa emissão de gases de efeito estufa no setor agropecuário é promover o diálogo com o governo federal, a fim de que seja incorporado de forma conjunta e coordenada o potencial de mitigação das práticas previstas no Plano ABC+.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a elaboração do seu novo inventário, contemplando todos os setores e atividades fontes de emissão de GEE, o estado de Minas Gerais avança na implementação da agenda climática, reforçando seu compromisso e liderança como governo subnacional no cumprimento das metas definidas no Acordo de Paris e da NDC brasileira.

Os resultados do 4º Inventário de emissões de GEE de Minas Gerais dialogam com perfil socioeconômico do estado, no qual é observada uma intensa atividade agropecuária e também industrial, em especial a produção de metais, que influencia bastante as emissões do setor de Energia e de Processos Industriais e Uso de Produtos.

Em termos de evolução das emissões de GEE, entre os anos de 2015 a 2019 foi observada uma gradativa redução das emissões estaduais, de 7,7%, oriundas principalmente da diminuição de emissões relacionadas com setor de Energia e de fermentação entérica, dentro de atividades agropecuárias, indicando uma forte correlação com a recessão econômica.

Também é importante destacar medidas que contribuem para a redução de emissões de GEE já implementadas em Minas Gerais, como por exemplo, o aproveitamento ou queima do biogás gerado em aterros sanitários, responsável pela recuperação de cerca de 766 mil toneladas de CO₂e em 2019. Nesse contexto, também deve ser destacada a manutenção das Unidades de Conservação no estado, responsáveis por remover anualmente cerca de 3,0 MtCO₂e.

Apesar da implementação dessas e outras medidas que promovem o abatimento das emissões de GEE, a evolução das emissões do estado demonstram sinergia entre as emissões e tendência econômica, em especial quando analisamos o consumo de combustíveis, tanto em residências, quanto na indústria, e, também o número de animais em pastos.

O principal desafio do estado reside em como promover o crescimento econômico, ao mesmo tempo em que se devem diminuir as emissões de gases de efeito estufa e as vulnerabilidades regionais, visando o desenvolvimento sustentável e equitativo. O presente documento gera uma nova linha de base para a compreensão do comportamento do estado frente à atuação climática, servindo como referência para a identificação de ações que apresentam o maior impacto na mitigação e, conseqüentemente, no enfrentamento à mudança do clima.

Por isso, compreende-se que a elaboração do inventário de emissões de GEE é uma atividade que deve ser atualizada periodicamente. Isso permite que Minas Gerais possa planejar suas ações focadas na mitigação e no cumprimento de seu compromisso com o *Race to Zero*, tendo uma visão ainda mais acurada de seu perfil de emissão. É a contínua capacitação da equipe técnica no processo de elaboração de inventários que permitirá a perpetuação do processo, garantindo a periodicidade necessária de inventários para contribuição do planejamento das ações efetivas no estado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Minas. Sobe para 341 o número de municípios com situação de emergência por conta das chuvas intensas em Minas. 2022. Disponível em: <https://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticia/sobe-para-341-o-numero-de-municipios-com-situacao-de-emergencia-por-conta-das-chuvas-intensas-em-minas>. Acesso em: 10 Jun. 2022.

ALBERT, C.; BUSTOS, P. e PONTICELLI, J. The Effects of Climate Change on Labor and Capital Reallocation. NBER Working Paper No. 28995. Julho, 2021. Disponível em: https://www.nber.org/system/files/working_papers/w28995/w28995.pdf. Acesso em: 13 jun. 2022.

ALVES, A. M. M. R.; MARTINS, F. B.; REBOITA, M. S. Balanço Hídrico Climatológico para Itajubá-MG: Cenário Atual e Projeções Climáticas. Revista Brasileira de Climatologia, [S.l.], v. 26, jun. 2020. ISSN 2237-8642. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/70387>. Acesso em: 24 nov. 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v26i0.70387>. Acesso em 25 nov. 2021.

ANEEL. Sistema de Informações de Geração da ANEEL - Capacidade instalada por estado. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 22 jun. 2022.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; YANAGI, S. N. M.; NETO, O. B. S. Tendências de temperaturas mínimas e máximas do ar no estado de Minas Gerais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, n. 49, v. 4, p. 247-256, abr. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000400002>. Acesso em: 07 fev. 2022.

Berkeley Earth. Regional Climate Change: Brazil. 2022. Disponível em: <http://berkeleyearth.lbl.gov/regions/Brazil>. Acesso em: 10 jun. 2022.

BRASIL. Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea. Anuário Estatístico de Tráfego Aéreo: 2019. Rio de Janeiro: CGNA, 2020a. Disponível em: http://portal.cgna.decea.mil.br/files/uploads/anuario_estatistico/anuario_estatistico_2019.pdf. Acesso em: 03 jun. 2022.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020: ano base 2019. Rio de Janeiro: 2020b.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2021: ano base 2020. Rio de Janeiro: 2021.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Estatísticas. Renavam – Frota de Veículos. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/estatisticas-frota-de-veiculos-senatran>. Acesso em: 14 mar. 2022.

BRESSANI-RIBEIRO T., LOBATO, L.C.S., CHAMHUM-SILVA, L.A., CHERNICHARO, C.A.L. ETEs Sustentáveis e políticas públicas. In: Soluções baseadas na Natureza e os Desafios das Águas: acelerando a transição para cidades mais sustentáveis. 2021.

CAÑELLAS, Kátia. Como ocorre o Aquecimento Global. Clima em curso. 2018. Disponível em: <https://www.climaemcurso.com.br/blog/2018/09/09/como-ocorre-o-aquecimento-global-2/>. Acesso em: 15 mar. 2022.

CAR - Análises do Cadastro Ambiental Rural. EMBRAPA TERRITORIAL. Agricultura e preservação ambiental: uma análise do cadastro ambiental rural. Campinas, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/car-2021/resultados>. Acesso em: 23 ago. 2022

CEMIG - Companhia Energética De Minas Gerais. 33º Balanço Energético do Estado de Minas Gerais - BEEMG 2018: ano Base 2017. Belo Horizonte. 2019. 175 p.

CEMIG. Atlas Solarimétrico de Minas Gerais - Volume II. Belo Horizonte. 2016. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2021/03/atlas-solarimetrico-vol-ii-mg.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2022.

CPTEC/INPE - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Climatologia de Precipitação e Temperatura. 2022. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/chuesp.html>. Acesso em: 29 jun. 2022.

MINAS GERAIS. Decreto Estadual nº 47.344/2018. Estabelece o Regulamento do Instituto Estadual de Florestas. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa-nova-min.html?tipo=DEC&num=47344&ano=2018#:~:text=Estabelece%20o%20Regulamento%20do%20Instituto%20Estadual%20de%20Florestas.&text=DISPOSI%C3%87%C3%95ES%20PRELIMINARES-,Art.,de%201962%2C%20e%20no%20art>. Acesso em: 22 jun. 2022.

DENCHAK, Melissa. Greenhouse Effect 101. NRDC, 16 jul. 2019. Disponível em: <https://www.nrdc.org/stories/greenhouse-effect-101#whatis>. Acesso em: 25 nov. 2020.

EBC. Núcleo de Estudos de Economias de Baixo Carbono. Produção de Cal. 2014. Disponível em: http://www.comexresponde.gov.br/portalmdic/arquivos/dwnl_1423738707.pdf. Acesso em: 29 jun. 2022.

Emater-MG. Chuvas: 119 mil hectares de lavouras foram perdidos em minas gerais, aponta levantamento da Emater-MG. 2022. Disponível em: https://www.emater.mg.gov.br/portal.do/site-noticias/chuvas-119-mil-hectares-de-lavouras-foram-perdidos-em-minas-gerais-aponta-levantamento-da-emater-mg/?flagweb=novosite_pagina_interna_noticia&id=26198#:~:text=BELO%20HORIZONTE%2. Acesso em: 10 jun. 2022.

Estado de Minas. Reservatórios das maiores hidrelétricas de Minas operam abaixo de 50%. 2021a. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2021/08/31/internas_economia,1300908/reservatorios-das-maiores-hidreletricas-de-minas-operam-abaixo-de-50.shtml. Acesso em: 10 jun. 2022.

Estado de Minas. Seca deixa 139 cidades mineiras em emergência. 2021b. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2021/09/20/interna_gerais,1307089/seca-deixa-139-cidades-mineiras-em-emergencia.shtml. Acesso em: 10 jun. 2022.

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. Estudo de Vulnerabilidade Regional às Mudanças Climáticas de Minas Gerais. 2014. Disponível em: http://pemc.meioambiente.mg.gov.br/images/ConteudoArquivos/Diagnostico/AdaptacaoAsMudancasClimaticas/1pemc_estudo_vulnerabilidade_regional_ficha_catalogifica.pdf. Acesso em: 30 jun. 2022.

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. Índice Mineiro de Vulnerabilidade Climática (IMVC) do Estado de Minas Gerais. Clima Gerais - Plataforma Mineira para Adaptação às Mudanças Climáticas. 2017. Disponível em: <http://clima-gerais.meioambiente.mg.gov.br/vulnerabilidade-territorial>. Acesso em: 13 jun. 2022.

FIPE - Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC. SAÚDE, ECONOMIA E CLIMA FRENTE À COVID-19 NO BRASIL: IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS E O PAPEL DA MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE GEE NA RECUPERAÇÃO ECONÔMICA. 2020. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/coronavirus/informes-rede-clima-subrede-economia/arquivo/informe_1-relatorio_final_etapas_1_2.pdf. Acesso em: 25 ago. 2022.

FRANÇA, D. A. - Emissões associadas à queima da palha de cana-de-açúcar no estado de São Paulo e seus impactos na qualidade do ar. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 2013.

Governo de Minas. Geografia. 2022. Disponível em: <https://www.mg.gov.br/pagina/geografia>. Acesso em: 29 jun. 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE em parceria com a Marinha do Brasil lança o Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas. 2011. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/noticias-censo.html?busca=1&id=1&idnoticia=2036&t=ibge->

[parceria-marinha-brasil-lanca-atlas-geografico-zonas-costeiras-oceanicas&view=noticia#:~:text=Devido%20a%20fatores%20hist%C3%B3ricos%20relacionados%20de%20milh%C3%B5es%20de%20habitantes](#). Acesso em: 10 jun. 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama Estadual - Minas Gerais. Rio de Janeiro. 2021a. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/panorama>. Acesso em: 10 Jun. 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produto Interno Bruto dos Municípios. Produto interno bruto a preços correntes, impostos, líquidos de subsídios, sobre produtos a preços correntes e valor adicionado bruto a preços correntes total e por atividade econômica, e respectivas participações. Atualização de 17 dez. 2021. 2021b. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5938>. Acesso em: 14 fev. 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ranking de produção de leite cru. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/pesquisa/18/16459?tipo=ranking&indicador=16559&ano=2008>. Acesso em: 28 jun. 2022.

ICMBio. SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. 2022. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/educacaoambiental/politicas/snuc.html>. Acesso em: 29 jun. 2022.

IEF - Instituto Estadual de Florestas. Cobertura Vegetal de Minas Gerais. 2020. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/florestas>. Acesso em: 10 jun. 2022.

IEF - Instituto Estadual de Florestas. Biodiversidade em Minas. 2022. Disponível em: http://www.ief.mg.gov.br/florestas/index.php?option=com_content&task=view&id=487&Itemid=37. Acesso em: 29 jun. 2022.

IMAFLOTA - Nota Metodológica SEEG 9 Setor Agropecuário. IMAFLORA (Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola). 2021. Disponível em: https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG%208%20com%20Municipios/Nota_M

[etodologica SEEG8 Agropecuaria com Anexo Municipios - 02.2021.pdf](#). Acesso em: 23 ago. 2022.

INFRAERO. Estatísticas. 2022. Disponível em: <https://transparencia.infraero.gov.br/estatisticas/>. Acesso em: 28 abr. 2022.

IORIO, M; ROCHA, G. M; MONNI, S. Água, cooperação e desenvolvimento: a perspectiva do projeto AguaSocial. NUMA/UFPA. Belém. 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Salvatore-Monni/publication/357310654_Amazonia_Brasileira_maldicao_dos_recursos_naturais_ou_renovado_colonialismo/links/61cad93cd450060816711b5f/Amazonia-Brasileira-maldicao-dos-recursos-naturais-ou-renovado-colonialismo.pdf#page=88. Acesso em: 10 jun. 2022.

IPAM - Nota Metodológica SEEG 9 Setor Mudança de Uso da Terra e Florestas. IPAM (Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia). 2021. Disponível em: https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Notas%20Metodologicas/SEEG_9%20%282021%29/Nota_Metodologica_SEEG_9_MUT_v3.docx.pdf. Acesso em: 23 ago.2022.

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [PACHAURI, R.K. et al. (eds.)]. Genebra: IPCC, 2007. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>. Acesso em: 14 mai. 2021.

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2013. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324.

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Climate Change 2014 Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of

the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO978110>.

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2021. [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.)]. 2021. Cambridge University Press. In Press.

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>. Acesso em: 20 mai. 2022.

BRASIL. Lei 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em: 22 jun. 2022.

MINAS GERAIS. Lei Estadual nº 20.922/2013. Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=30375#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20as%20pol%C3%ADticas%20florestal%20e%20de%20prote%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A0%20biodiversidade%20no%20Estado.&text=Art.,obedecer%C3%A3o%20ao%20disposto%20n%20esta%20Lei>. Acesso em: 22 jun. 2022.

LSPA-IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html?=&t=destaques>. Acesso em: 13 Jun. 2022.

MELO, Leonardo B. Análise integrada do nexos água-energia-emissões e mitigação das externalidades para o estado de Minas Gerais. 2020 Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/35831>. Acesso em: 22 jun. 2022.

MINAS GERAIS. Conheça Minas. História - Estado de Minas Gerais. 2021a. Disponível em: <https://www.mg.gov.br/conheca-minas/historia>. Acesso em: 08 fev. de 2022.

MINAS GERAIS. Conheça Minas. Rodovias. 2014. Disponível em: <https://www.mg.gov.br/pagina/rodovias#main>. Acesso em: 04 abr. 2022.

MINAS GERAIS. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Balanço do Agronegócio de Minas Gerais. 2021b. Disponível em: http://www.agricultura.mg.gov.br/images/documentos/Balanco_Agronegocio_2021.pdf. Acesso em: 29 jun. 2022.

MINAS GERAIS. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Panorama do Comércio Exterior do Agronegócio de Minas Gerais. 2019. Disponível em: http://www.agricultura.mg.gov.br/images/Arg_Relatorios/Publicacoes/panorama_2019.pdf. Acesso em: 29 jun. 2022.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Infraestrutura e Mobilidade. Plano Estratégico Ferroviário de Minas Gerais. Belo Horizonte: SEINFRA, 2021c. Disponível em: http://www.infraestrutura.mg.gov.br/images/documentos/infraestrutura-ferroviaria/01_plano_estrategico_ferroviario/01_pef/Relatorio_PEF_Minis_2021.pdf. Acesso em: 05 abr. 2022.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Destinação dos RSU - Lista de municípios. Dezembro. 2021d. Disponível em: http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2022/SANEAMENTO/Destina%C3%A7%C3%A3o_dos_Res%C3%ADduos_S%C3%B3lidos_Urbanos_em_MG_-_Dezembro_2021.pdf. Acesso em: 07 jul. 2022.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Panorama síntese: resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais 2020 – ano base 2019. Belo Horizonte, 2020.

MME - Ministério de Minas e Energia. Anuário do Setor de Transformação não-metálica 2013 base 2012 - Parte 3. Brasília, 2021. Disponível em: http://antigo.mme.gov.br/documents/36108/405154/Anuario_Setor_Transformacao_Nao_Metalicos_2013_base_2012_parte_3.pdf/773b2e0a-5222-94c8-e4a3-e2989d336245?version=1.0. Acesso em: 29 jun. 2022.

NOAA. Climate.gov. Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide. Disponível em: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>. Acesso em: 10 jun. 2022.

PAM - Produção Agrícola Municipal. SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática. 2020 Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 20 jun.2022

PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Impactos, Vulnerabilidades e Adaptação. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. 2013. Disponível em: http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/GT2_sumario_portugues_v2.pdf. Acesso em: 23 ago. 2021.

PBMC. Mudanças Climáticas e Cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [RIBEIRO, S.K.; SANTOS, A. S. (Eds.)]. PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil, 2016. 116p. ISBN: 978-85-285-0344-9.

Portal da Indústria. Perfil da Indústria de Minas Gerais. 2022. Disponível em: <https://perfildaindustria.portaldaindustria.com.br/estado/mg#:~:text=Possui%20PIB%20industrial%20de%20R,R%24%20571%2C5%20bilh%C3%B5es>. Acesso em: 29 jun. 2022.

Le Quéré, C., Jackson, R.B., Jones, M.W. et al. Temporary reduction in daily global CO₂ emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nat. Clim. Chang.* 10, 647–653 (2020).
<https://doi.org/10.1038/s41558-020-0797-x>

RMMG - Recursos Minerais de Minas Gerais. 2022. Disponível em:
<http://recursomineralmg.codemge.com.br/>. Acesso em: 29 jun. 2022.

SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Panorama Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário. 2021a.
https://www.agenciaminas.mg.gov.br/ckeditor_assets/attachments/12543/panorama_abastecimento_de_agua_e_esgotamento.pdf. Acesso em: 28 jun. 2022.

SEMAD. Panorama Resíduos Sólidos Urbanos. 2021b. Disponível em:
https://www.agenciaminas.mg.gov.br/ckeditor_assets/attachments/12542/panamora_rsu_rev01_final_21_10_28_1.pdf. Acesso em: 30 jun. 2022.

SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Camadas disponíveis: Áreas protegidas (IEF, ICMBIO). Belo Horizonte: IDE – SISEMA, 2021. Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br>. Acesso em: 13 jun. 2022.

SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. Relatório Anual. 2019. Disponível em:
http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2019.pdf. Acesso em: 28 jun. 2022.

SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. Produção Nacional de Cimento por Regiões e Estados. 2021. Disponível em: <http://snic.org.br/assets/pdf/numeros/1657726220.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2022.

SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. Resultados Preliminares de Junho 2022. 2022. Disponível em: <http://snic.org.br/numeros-resultados-preliminares-ver.php?id=74>. Acesso em: 28 jul. 2022.

UNFCCC - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima. Annex Information to facilitate clarity, transparency and understanding of Brazil's NDC. In: Brazil's

Nationally Determined Contribution (NDC). 2022. Disponível em:

<https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Updated%20-%20First%20NDC%20-%20%20FINAL%20-%20PDF.pdf>. Acesso em: 13 Jun. 2022.

VASQUEZ-ARROYOA, E. et al. Impactos climáticos na segurança energética no Brasil: análise de eventos observados e opções de adaptação. Brasília, v. 11, n.3, p. 177-196, 2020.

ANEXOS

Anexo A - Mapeamento das fontes de emissão

Para realizar o cálculo das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) presentes no estado foi necessário viabilizar a identificação e a caracterização das principais atividades fontes de emissão de GEE, seguindo as diretrizes do IPCC, essas atividades foram divididas em 04 (quatro) setores principais com seus respectivos subsetores:

- **Energia:**

- Fontes estacionárias;
 - Detalhamento do consumo de combustíveis em fontes fixas no estado.
- Fontes móveis.
 - Detalhamento do consumo de combustíveis em fontes móveis e informações no estado.

- **Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU):**

Detalhamento de dados quantitativos sobre a produção industrial no estado.

- Produção de minérios;
- Produção de metais;
- Produção de produtos químicos.

- **Resíduos:**

Detalhamento de aspectos da gestão de resíduos sólidos e saneamento no estado.

- Disposição final de resíduos sólidos;
- Incineração e queima a céu aberto;
- Tratamento de efluentes líquidos (domésticos e industriais).

- **Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU):**

Detalhamento de aspectos relacionados com agropecuária e mudança do uso da terra no estado.

- Fermentação entérica;
- Manejo de dejetos;
- Cultivo de arroz;

- Calagem;
- Solos manejados;
 - Fertilizantes sintéticos e orgânicos;
 - Queima de resíduos agrícolas;
 - Solos orgânicos;
 - Dejetos depositados diretamente no solo.
- Conversão do tipo de uso da terra;
- Queima de resíduos florestais.

A etapa de coleta de dados de atividades é bastante significativa no processo de elaboração do Inventário de Emissões e Remoções de GEE, impactando diretamente na qualidade do produto final. Para facilitar o processo de mapeamento, coleta e verificação desses dados a equipe técnica do ICLEI elaborou uma planilha que foi compartilhada com os representantes técnicos do estado permitindo a identificação e alocação setorial dos dados, referências e valores numéricos obtidos. Além de dados de entrada importantes para o inventário, também foram solicitadas informações adicionais que serão relevantes para a quantificação das emissões.

Os dados de atividade foram inseridos na planilha de coleta de dados para cada setor nos anos de interesse. A partir desse mapeamento esse anexo apresenta os dados de atividade coletados junto aos representantes técnicos do estado. As tabelas A1 – A4 apresentam quais informações foram obtidas, bem como a fonte dos dados para os setores de Energia, Resíduos, Processos Industriais e Usos de Produtos (IPPU) e Agricultura, Floresta e Mudança do Uso da Terra (AFOLU).

Tabela A1 - Atividades fontes de emissão para o setor de Energia

Subsetor	Atividade fonte de emissão ou informações adicionais	Referência
Fontes estacionárias	Consumo de óleo diesel em comércios, residências, serviços, indústrias de manufatura e construção, setor energético e outros.	ANP/EPE/ 33º BEEMG/ CEMIG
	Consumo de óleo combustível em indústrias de manufatura e construção e setor energético	ANP/EPE/ 33º BEEMG/ CEMIG
	Consumo de GLP em residências, comércio, serviço, setor público, indústrias, setor energético e outros.	BEN2021/ EPE/ 33º BEEMG/ CEMIG e ANP Tabela vendas combustíveis
	Consumo de querosene iluminante na indústria	33º BEEMG/ CEMIG/ EPE
	Consumo de coque de petróleo na indústria	33º BEEMG/ CEMIG
	Consumo de outras fontes primárias e secundárias na indústria	33º BEEMG/ CEMIG
	Consumo de carvão em comércios, residências, serviços, indústrias de manufatura e construção, setor energético e outros.	33º BEEMG/ CEMIG

Subsetor	Atividade fonte de emissão ou informações adicionais	Referência
	Emissões oriundas das atividades de refino da REGAP, bem como dados sobre emissões fugitivas.	Petrobras
	Consumo de gás natural em residências, serviços, comércios, indústrias e outros.	GASMIG/ 33º BEEMG/ CEMIG
	Consumo de lenha em comércios, residências, serviços, indústrias de manufatura e construção, setor energético e outros.	33º BEEMG/ CEMIG/ EPE /BEN 2020
	Consumo de energia elétrica em comércios, residências, serviços, indústrias de manufatura e construção, setor energético e outros.	EPE
Fontes móveis	Consumo de gasolina no transporte rodoviário	ANP
	Consumo de etanol no transporte rodoviário	ANP
	Consumo de querosene de aviação no Mercado Nacional e Aeronaves em trânsito	ANP
	Consumo de gasolina de aviação no Mercado Nacional e Aeronaves em trânsito	ANP

Subsetor	Atividade fonte de emissão ou informações adicionais	Referência
	Consumo de óleo diesel no transporte rodoviário e ferroviário.	33º BEEMG/CEMIG/ ANP/ BEN2021/ EPE
	Consumo de óleo combustível no transporte rodoviário	ANP

Fonte: Elaboração própria, 2022.

Tabela A2 - Atividades fontes de emissão para o setor de Resíduos

Subsetor	Atividade fonte de emissão ou informações adicionais	Referência
Disposição final de resíduos sólidos	Quantidade de Resíduos sólidos coletados e encaminhados para a disposição final dentro do estado (pode ser total ou estimativa per capita)	Diagnóstico SNIS
	Volume de Resíduos sólidos coletados e encaminhados para a disposição final dentro do estado (coleta per capita x Pop. urbana)	Diagnóstico SNIS
	Quantidade de metano recuperado (térmico ou energia)	Inventário GEE-Belo Horizonte

Subsetor	Atividade fonte de emissão ou informações adicionais	Referência
Incineração e queima a céu aberto de resíduos sólidos	Quantidade de Resíduos especiais encaminhados para a incineração	ABRELPE
	Quantidade de Resíduos de Serviço de Saúde coletada	ABRELPE
	Destino final dos RSS para incineração	ABRELPE
	População que queimam seus resíduos na propriedade	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2015 a 2019
Tratamento de efluentes domésticos	Fração de coleta e tipos de tratamento operado pela Superintendência da Operação Norte e Sul	SNIS/SEMAD
	População atendida e tipos de Sistemas de tratamento de esgoto sanitário operado pela superintendência de Produção da Região Metropolitana.	SNIS/SEMAD
	Dados sobre fração e tipos de tratamento para todos os municípios do estado.	SNIS/SEMAD
Tratamento de efluentes líquidos industriais	Produção de celulose	IBA

Subsetor	Atividade fonte de emissão ou informações adicionais	Referência
	Produção de carnes	SIDRA-IBGE
	Produção de leite cru e pasteurizado	IMA / PIA-Produto/ IBGE
	Produção de cerveja	PIA-Produto/ IBGE

Fonte: Elaboração própria, 2022.

Tabela A3 - Atividades fontes de emissão para o setor de IPPU

Subsetor	Atividade fonte de emissão ou informações adicionais	Referência
Minerais	Produção de Cimento	SNIC
	Produção de Cerâmica	IBGE - Pesquisa Industrial Anual - Produto
	Produção de Cal	MME
Metais	Produção de Ferro-Liga	ABRAFE
	Produção de Magnésio	Relatórios de Monitoramento submetidos pela RIMA ao UNFCCC por meio de mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL)
	Produção de aço e ferro-gusa	Instituto Aço Brasil e Sindifer
Química	Produção de Amônia	Anuário da Indústria Química Brasileira (ABIQUIM)

Fonte: Elaboração própria, 2022.

Tabela A4 - Atividades fontes de emissão para o setor de AFOLU

Subsetor	Atividade fonte de emissão ou informações adicionais	Referência
Pecuária	Rebanho bovino	IV Inventário Nacional GEE (MCTI) / Produção da Pecuária Municipal (IBGE) / Sistema de Defesa Agropecuária (IMA)
	Rebanho suíno	
	Rebanho galináceos, codornas, ovino, caprino, bubalinos, equinos e muas	Produção da Pecuária Municipal (IBGE)
Agricultura	Aplicação de Cal	ABRACAL
	Outros fertilizantes sintéticos	ANDA
	Fertilizantes orgânicos	SIAMIG - Associação das Indústrias Sucroenergéticas de MG / IV Inventário Nacional GEE (MCTI) / Produção da Pecuária Municipal (IBGE) / Sistema de Defesa Agropecuária (IMA)
	Produtividade de cana-de-açúcar	Produção Agrícola Municipal (IBGE)
	Área colhida de cana-de-açúcar	Produção Agrícola Municipal (IBGE)
	Área colheita manual cana-de-açúcar	SIAMIG - Associação das Indústrias Sucroenergéticas de MG

Subsetor	Atividade fonte de emissão ou informações adicionais	Referência
	Área de pastagem	LAPIG
	Produção de algodão herbáceo	Produção Agrícola Municipal (IBGE)
	Produção de arroz - em casca	Produção Agrícola Municipal (IBGE)
	Produção de cana de açúcar	Produção Agrícola Municipal (IBGE)
	Produção de feijão - em grão	Produção Agrícola Municipal (IBGE)
	Produção de mandioca	Produção Agrícola Municipal (IBGE)
	Produção de milho	Produção Agrícola Municipal (IBGE)
	Produção de soja	Produção Agrícola Municipal (IBGE)
	Produção de trigo	Produção Agrícola Municipal (IBGE)
	Produção de etanol total	SIAMIG - Associação das Indústrias Sucroenergéticas de MG
	Produção de açúcar	SIAMIG - Associação das Indústrias Sucroenergéticas de MG
	Área total de silvicultura	IBA

Subsetor	Atividade fonte de emissão ou informações adicionais	Referência
	Produção de madeira/lenha em tora para outras finalidades	Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (IBGE)
	Produção de Carvão vegetal	Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (IBGE)
	Área solos orgânicos	IV Inventário Nacional GEE (MCTI)
	Produção de arroz	EMBRAPA, Inventário Nacional
Mudança do Uso do Solo	Biomassas	IBGE (Biomassas e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250 000)
	Alteração do uso da terra	FEAM/ IEF - Monitoramento contínuo / MapBiomassas
	Áreas manejadas (UC e Terras Indígenas)	IEF / ICMBio / FUNAI

Fonte: Elaboração própria, 2022.

Anexo B - Referencial metodológico IPCC

A metodologia adotada para a elaboração do Inventário de Emissões e Remoções de GEE foi a metodologia GPC, que por sua vez é baseada no *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC, 2006), no seu refinamento lançado em 2019 (IPCC, 2019) e o *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC, 2000). Nesta seção, são descritas as metodologias e algumas das fórmulas de cálculo utilizadas para estimar as emissões de cada setor incluído no inventário.

Energia

Realiza-se o cálculo das emissões de GEE relacionadas ao setor de Energia Estacionária a partir da multiplicação dos dados de consumo/combustão de combustíveis pelos fatores de emissão correspondentes, conforme demonstrado na Equação 1.

Equação 1: Emissões de GEE provenientes da combustão⁸.

$$Emissão_{comb,GEE} = Consumo_{comb} \times Fator\ de\ emissão_{comb,GEE}$$

$Emissão_{comb, GEE}$ = Emissões de GEE por tipo de combustível

$Consumo_{comb}$ = Quantidade de combustível consumida

$Fator\ de\ emissão_{comb,GEE}$ = Fator de emissão por tipo de gás e combustível

⁸ 2006 IPCC Guideline for National Gas Inventories Intergovernmental Panel on Climate Change. v. 2. cap. 2 – Combustão Estacionária, 2006. Disponível em: <https://bit.ly/3Do8r08>

Resíduos

As emissões de GEE relacionadas com a disposição final de resíduos sólidos foram calculadas a partir do Decaimento de Primeira Ordem, apresentado de forma simplificada na Equação 2 e Equação 3, assumindo que o componente orgânico degradável no resíduo se degrada ao longo dos anos posteriores à disposição final.

Equação 2: Decaimento de Primeira Ordem.

$$Emissão CH_4 = \sum_i (CH_4 \text{ gerado} - R_t) \times (1 - OX)$$

CH_4 = Quantidade de metano gerado, toneladas de CH_4

R_T = Metano recuperado no ano T, toneladas de CH_4

OX = Fator de Oxidação, adimensional

Equação 3: Potencial de geração de metano.⁹

$$CH_{4gerado} = DDOC_{mdecompT} \times F \times 16/12$$

$CH_{4gerado}$ = Quantidade de metano gerado no ano T, tonelada de CH_4

$DDOC_{mdecompT}$ = Fração de DOC que efetivamente se degrada no ano T

F = Fração de metano no gás de aterro

16/12 = Razão estequiométrica entre metano e carbono

⁹ IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, 2000. cap. 5. Disponível em: <https://bit.ly/3Dmf3Mh>

Para estimar as emissões de GEE relacionadas à incineração como rota tecnológica de tratamento de resíduos sólidos mais comumente utilizada no Brasil para resíduo de serviços de saúde (RSS), aplica-se a Equação 4 e Equação 5, de acordo com as metodologias descritas nas diretrizes do IPCC 2006. Além disso, as equações também são adotadas para estimar as emissões pela queima a céu aberto.

Equação 4: Emissões de CO₂ não biogênico da incineração e queima a céu aberto de resíduos sólidos.¹⁰

$$Emiss\tilde{a}o\ CO_2 = m \times \left(\sum_i (WF_i \times dm_i \times CF_i \times FCF_i \times OF_i) \right) \times \left(\frac{44}{12} \right)$$

Emissão CO₂ = Total de emissões de CO₂ provenientes da incineração, em toneladas

m = Massa de resíduos incinerados, em toneladas

WF_i = Fração de resíduos de tipo i

dm_i = Dry matter conteúdo de tipo i

CF_i = Fração de carbono de dry matter de tipo i

FCF_i = Fração de carbono fóssil no total de componente de carbono

OF_i = Fator de oxidação

¹⁰ 2006 IPCC Guideline for National Gas Inventories Intergovernmental Panel on Climate Change. v. 5, cap. 5, 2006. Disponível em: <https://bit.ly/3Ds1pHM>

i = Tipo de resíduo sólido incinerado

Equação 5: Emissões de CH₄ e N₂O da incineração e queima a céu aberto de resíduos sólidos.¹¹

$$Emiss\tilde{a}o\ CH_4 = \left(\sum_i (IW_i \times EF_i) \right) \times (10^{-6})$$
$$Emiss\tilde{a}o\ N_2O = \left(\sum_i (IW_i \times EF_i) \right) \times (10^{-6})$$

Emissão de CH₄ = Total de emissões de metano no ano de inventário, em toneladas

Emissão de N₂O = Total de emissões de dióxido de nitrogênio, em toneladas

IW_i = Quantidade de resíduos sólidos encaminhado para incineração ou queima a céu aberto, em toneladas

EF = Fator de emissão (g CH₄/t de resíduo e g N₂O/t de resíduo)

10⁻⁶ = Conversão de g para toneladas

i = Categoria do tipo de resíduo (e.g. resíduos sólidos urbanos, resíduos de serviços de saúde, resíduos sólidos industriais)

A metodologia para o cálculo de emissões de GEE oriundas do tratamento e afastamento de efluentes líquidos seguem as diretrizes do *2006 IPCC Guideline for National Gas Inventories (v. 5, 2006)* e pode ser descrita de acordo com a Equação 6, Equação 7e Equação 8.

¹¹ 2006 IPCC Guideline for National Gas Inventories Intergovernmental Panel on Climate Change. v. 5, cap. 5, 2006. Disponível em: <https://bit.ly/3Ds1pHM>

Equação 6: Emissões de CH₄ provenientes do tratamento e afastamento de efluentes líquidos¹².

$$Emiss\tilde{a}o\ CH_4 = \left(\sum_i (TOW_i \times S_i) \times EF_i - R \right)$$

Emissão CH₄ = Emissões totais de CH₄, em toneladas

TOW = Quantidade de matéria orgânica no efluente líquido (kg de DBO ou kg de DQO)

EFCH₄ = Fator de emissão de kg de CH₄ (kg de DBO ou DQO)

S_i = Componente orgânico removido como iodo

R = Total de metano recuperado no ano de inventário, em toneladas

i = Tipo de efluente líquido (e.g. doméstico e/ou industrial)

Equação 7: Obtenção de fatores de emissão e carga orgânica em efluentes líquidos¹³.

$$TOW = Pop \times DBO \times I \times 365$$

$$EF = B_0 \times MCF_i \times U_i \times T_{i,j}$$

TOW = Total de carga orgânica nos efluentes líquidos domésticos

Pop = População que recebe cobertura do serviço de saneamento

¹² 2006 IPCC Guideline for National Gas Inventories Intergovernmental Panel on Climate Change. v. 5, cap. 6, 2006. Disponível em: <https://bit.ly/3jlffU0>

¹³ 2006 IPCC Guideline for National Gas Inventories Intergovernmental Panel on Climate Change. v. 5, cap. 6, 2006. Disponível em: <https://bit.ly/3jlffU0>

I = Fator de correção adicional para a presença de lançamento de efluentes industriais (valor default de 1,25 para a contribuição de efluentes industriais e 1,00 para a ausência de contribuição)

EF_i = Fator de emissão para cada sistema de tratamento e afastamento

i = categoria do tipo de resíduo (e.g. resíduos sólidos urbanos, resíduos de serviços de saúde, resíduos sólidos industriais)

MCF_i = fator de correção de metano (fração) para cada tipo sistema de tratamento adotado

U_i = Fração da população que recebe cobertura do sistema de tratamento

T_{i,j} = Taxa de utilização do sistema de tratamento/lançamento de efluentes j por cada fração da população i

Equação 8: Emissões de N₂O provenientes do tratamento e afastamento de efluentes líquidos¹⁴.

$$Emiss\tilde{a}o\ N_2O = \left[(P \times Prote\tilde{i}na \times F_{NPR} \times F_{NON-COM} \times F_{IND-COM}) - N_{lodo} \right] \times EF_{efluente} \times \frac{44}{28} \times 10^{-3}$$

Emissão N₂O = Total de emissões de N₂O, em toneladas

P = Total de população servida pelo sistema de tratamento

¹⁴ 2006 IPCC Guideline for National Gas Inventories Intergovernmental Panel on Climate Change. v. 5, cap. 6, 2006. Disponível em: <https://bit.ly/3jlfU0>

Proteína = Consumo anual de proteína per capita, kg/pessoa, por dia

$F_{\text{NON-CON}}$ = Fator de ajuste para proteína não consumida

F_{NPR} = Fração de nitrogênio na proteína, 0,16 kg N/kg de proteína

$F_{\text{IND-COM}}$ = Fator para efluentes industriais e comerciais co-lançados na rede, 1,25

N_{lodo} = Nitrogênio removido em lodo, valor default igual a 0 kg N/ano

EF_{efluente} = Fator de emissão, 0,005 kg $\text{N}_2\text{O} - \text{N}$ / kg de N_2O

44/28 = Conversão de kg $\text{N}_2\text{O-N}$ para kg de N_2O

Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU)

De forma genérica, as emissões de GEE para o setor industrial podem ser estimadas a partir da multiplicação da produção industrial ou capacidade de uso de produtos por diferentes fatores de emissão que, por sua vez, estão relacionados com o material produzido/utilizado e com o tipo de processo aplicado. As equações a seguir apresentam as metodologias descritas nas diretrizes do IPCC para quantificar as emissões provenientes da produção industrial, exemplificadas pela produção de cimento e produção de aço e ferro-gusa.

Equação 9: Emissões de CO₂ oriundas da produção de cimento¹⁵.

$$Emiss\tilde{a}o\ CO_2 = M_d \times EF_d$$

Emissão CO₂ = Total de emissão de CO₂, em toneladas

M_d = Massa produzida em toneladas por tipo de produto

EF_d = Fator de emissão por unidade produzida (e.g para cimento, CO₂/tonelada de clínquer)

Equação 10: Emissões de CO₂ oriundas da produção de aço¹⁶.

$$Emiss\tilde{a}o\ CO_2 = (C \times 41,868 \times EF_{CO_2}) - (P \times E_{st} \times \frac{44}{12})$$

Emissão CO₂ = Total de emissão de CO₂, em toneladas

C = Consumo de combustível (t/ano)

¹⁵ 2006 IPCC Guideline for National Gas Inventories Intergovernmental Panel on Climate Change. v. 3, cap. 2, 2006. Disponível em: <https://bit.ly/3jjzhOW>

¹⁶ 2006 IPCC Guideline for National Gas Inventories Intergovernmental Panel on Climate Change. v. 3, cap. 4, 2006. Disponível em: <https://bit.ly/3vpna8H>

EF_{CO_2} = Fator de emissão de CO₂ e por unidade de energia (kg CO₂/TJ)

P = Produção física de ferro ou aço (t/ano)

E_{st} = Teor mássico de carbono estado no ferro-gusa

44/12 = Conversão de C para CO₂

Agropecuária, Florestas e outros tipos de Uso do Solo (AFOLU)

A produção animal emite CH₄ por meio da fermentação entérica, e ambos – CH₄ e N₂O – através do manejo de dejetos animais. Para quantificar o total de emissões de metano pela fermentação entérica e manejo de dejetos, multiplica-se o total de cabeças de cada tipo de rebanho pelo fator de emissão correspondente, conforme indicado na Equação 11 e Equação 12.

Equação 11: Emissões de CH₄ fermentação entérica¹⁷.

$$Emiss\tilde{a}o\ CH_4 = N_{(T)} \times EF_{(ent\acute{e}rica,T)} \times 10^{-3}$$

Emissão CH₄ = Total de emissão de CH₄, em toneladas

T = Categoria de rebanho/espécies

N = Número de animais (por cabeça)

EF = Fator de emissão para fermentação entérica (kg de CH₄ por cabeça, por ano)

¹⁷ 2006 IPCC Guideline for National Gas Inventories Intergovernmental Panel on Climate Change. v. 4, cap. 10, 2006. Disponível em: <https://bit.ly/2WuvFRv>

Equação 12: Emissões de CH₄ pelo manejo de dejetos¹⁸.

$$Emiss\tilde{a}o\ CH_4 = N_{(T)} \times EF_{(T)} \times 10^{-3}$$

Emissão CH₄ = Total de emissão de CH₄, em toneladas

T = Categoria de rebanho/espécies

N= Número de animais (por cabeça)

EF= Fator de emissão para manejo de dejetos (kg de CH₄ por cabeça, por ano)

Para o cálculo das emissões de óxido nitroso do manejo de dejetos, utiliza-se a Equação 13 que, por sua vez, considera a taxa anual média de excreção de nitrogênio (N), definida pela Equação 14.

Equação 13: Emissões de N₂O pelo manejo de dejetos¹⁹.

$$Emiss\tilde{a}o\ N_2O = \sum_s [\sum_t (N_{(T)} \times Nex_{(T)} \times MS_{(T)(S)})] \times EF_{(S)} \times \frac{44}{28} \times 10^{-3}$$

Emissão N₂O = Total de emissão de N₂O, em toneladas

S = Sistema de gestão de dejetos (MMS)

T= Categoria de gado

¹⁸ 2006 IPCC Guideline for National Gas Inventories Intergovernmental Panel on Climate Change. v. 4, cap. 10, 2006. Disponível em: <https://bit.ly/2WuvFRv>

¹⁹ 2006 IPCC Guideline for National Gas Inventories Intergovernmental Panel on Climate Change. v. 4, cap. 10, 2006. Disponível em: <https://bit.ly/2WuvFRv>

$N_{(T)}$ = Número de animais (por cabeça)

$Nex_{(t)}$ = Excreção de N anual para a categoria de gado T (kg de N por animal, por ano)

MS = Fração da excreção anual total de nitrogênio gerenciada em MMS para cada categoria de gado

EF= Fator de emissão para fermentação entérica (kg de N₂O por cabeça, por ano)

44/28 = Conversão de emissões de N₂O-N para emissões de N₂O

Equação 14: Taxa anual média de excreção de N²⁰.

$$Nex_{(T)} = N_{indice(T)} \times TAM_{(T)} \times 10^{-3} \times 365$$

$Nex_{(T)}$ = Excreção de N anual para a categoria de gado T (kg de N por animal, por ano)

$N_{indice(T)}$ = Taxa de excreção de N predeterminada (kg de N por 1000kg de animal, por dia)

$TAM_{(T)}$ = Massa animal típica da categoria de gado T (kg por animal)

As emissões oriundas da aplicação de ureia, calagem e outros fertilizantes sintéticos no solo são estimados pela Equação 15 , como sugerida pelo IPCC (2006). Para tanto, é necessário

²⁰ 2006 IPCC Guideline for National Gas Inventories Intergovernmental Panel on Climate Change. v. 4, cap. 10, 2006. Disponível em: <https://bit.ly/2WuvFRv>

informações sobre a quantidade de ureia aplicada no solo e fatores de emissão específicos.

Equação 15: Emissões de CO₂ oriundas da aplicação de ureia²¹.

$$Emiss\tilde{a}o\ CO_2 = M \times FE_i \times \frac{44}{12}$$

Emissão CO₂ = Total de emissão de CO₂, em toneladas

M = Quantidade de fertilizante aplicado no solo, em tonelada de fertilizante i por ano

44/12 = Conversão de mudanças de existência de C a emissões de CO₂

FE_i = Fato de emissão, toneladas de C, por tonelada de fertilizante i .

i = Fertilizantes sintético utilizado

As emissões oriundas do cultivo de arroz são provenientes da decomposição anaeróbica de material orgânico para a atmosfera. As emissões de CH₄ são uma função dos diferentes ecossistemas, regimes de manejo de água, tipo e quantidade de material orgânico durante o período de cultivo. A

Equação 16 representa essas emissões, com fatores que se adequam a cada situação. O IPCC (2006) utiliza a seguinte equação para contabilizar essas emissões:

²¹ 2006 IPCC Guideline for National Gas Inventories Intergovernmental Panel on Climate Change. v. 4, cap. 11, 2006. Disponível em: <https://bit.ly/3NeK35U>

Equação 16: Emissões de CH₄ oriundas do cultivo de arroz²².

$$Emiss\tilde{a}o\ CH_4 = \sum_{ijk} (FE_{ijk} \times t_{ijk} \times A_{ijk} \times 10^{-3})$$

Emissão CH₄ = Total de emissão de CH₄, em toneladas

FE_{ijk} = Fator de emissão diário para as condições do cultivo de arroz, em (t/ano)

t_{ijk} = período de cultivo do arroz para as condições i, j e k, em dia.

A_{ijk} = Área de arroz colhida anualmente, para as condições i, j e k, em hectares/ano

ijk = Ecossistemas, regimes de manejo de água, tipo e quantidade de material orgânico e outras condições que podem influenciar nas emissões.

As emissões oriundas de fertilizantes sintéticos, orgânicos e solos manejados contabilizam as emissões pela adição de N no solo, a Equação 17 representa essas emissões, com fatores que se adequam a cada situação. O IPCC (2006) utiliza a seguinte equação para contabilizar essas emissões:

²² 2006 IPCC Guideline for National Gas Inventories Intergovernmental Panel on Climate Change. v. 4, cap. 05, 2006. Disponível em: <https://bit.ly/3zd8EBU>

Equação 17: Emissões pela adição de N aos solos²³.

$$N_2O - N_{N\ inputs} = [(F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{CR} + F_{SOM}) \times EF_1] + [(F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{CR} + F_{SOM})_{FR} \times EF_{1FR}]$$

$$N_2O - N_{N\ inputs} = \text{Emissão de } N_2O\text{-N}$$

F_{SN} = Quantidade anual de fertilizante sintético N aplicado aos solos, kg N ano⁻¹

F_{ON} = quantidade anual de esterco animal, composto, lodo de esgoto e outras adições de N orgânico aplicado solos, kg N ano⁻¹

F_{PRP} = quantidade anual de urina e N de esterco depositado por animais em pastagem, pastagem e piquete, kg N ano⁻¹

F_{CR} = Quantidade anual de N em resíduos de culturas (acima e abaixo do solo), incluindo culturas fixadoras de N, e da renovação de forragem/pastagem, devolvidas aos solos, kg N ano⁻¹

F_{SOM} = Quantidade anual de N em solos minerais que é mineralizado, em associação com a perda de C do solo e de matéria orgânica como resultado de mudanças no uso ou manejo da terra, kg N ano⁻¹

EF_{1FR} = Fator de emissão para as emissões de N₂O das entradas de N para o arroz irrigado (atividade não é presente no estado de Minas Gerais)

²³ 2006 IPCC Guideline for National Gas Inventories Intergovernmental Panel on Climate Change. v. 4, cap. 11, 2006. Disponível em: <https://bit.ly/3NeK35U>

EF_1 = Fator de emissão para emissões de N_2O de entradas de N, $kg\ N_2O-N$ (kg de entrada de N)⁻¹

Para estimar as emissões oriundas da queima de resíduos de culturas agrícolas, é necessário calcular preliminarmente o FCR, esse fator estima a quantidade de resíduos acima e abaixo do solo de cada cultura agrícola, quantificando a quantidade de nitrogênio que será emitida. O IPCC recomenda a utilização da Equação 18:

Equação 18: N em resíduos de culturas e pastagens²⁴.

$$FCR = \sum_T \{Frac_{renew(T)} \times [(Area_T - Areaburnt_T \times CF) \times AG_{DM(T)} \times 1000 \\ \times N_{AG(T)} \times (1 - Frac_{remove(T)} + Area_{(T)} \times (AG_{DM(T)} \times 1000 \\ + Crop_{(T)} \times R_{BG-BIO(T)} \times N_{BG(T)})]$$

FCR = quantidade anual de N em resíduos de culturas (acima e abaixo do solo), incluindo culturas fixadoras de N, e de renovação de forragem/pastagem, devolvida aos solos anualmente, $kg\ N\ ano^{-1}$

T = Tipo de cultura agrícola

$Frac_{Renew}$ = Fração da área total sob cultivo T que é renovada anualmente.

$Frac_{Remove}$ = Fração de resíduos acima do solo da cultura T removida anualmente para fins como alimentação, cama e construção, $kg\ N\ (kg\ cultura-N)^{-1}$.

²⁴ 2006 IPCC Guideline for National Gas Inventories Intergovernmental Panel on Climate Change. v. 4, cap. 11, 2006. Disponível em: <https://bit.ly/3NeK35U>

F_{PRP} = quantidade anual de urina e N de esterco depositado por animais em pastagem, pastagem e piquete, kg N ano⁻¹

Area = Área total de colhida da cultura T, em hectares ano⁻¹

Area_{BURNT} = Área anual da cultura T queimada, hectares ano⁻¹

$R_{AG(T)}$ = Razão de matéria seca de resíduos acima do solo ($AG_{DM(T)}$) para rendimento colhido para a cultura T ($Crop_{(T)}$)

$$R_{AG(T)} = (AG_{DM(T)} \bullet 1000 + Crop_{(T)})$$

N_{AG} = Teor de N de resíduos acima do solo para cultura T

N_{BG} = Teor de N de resíduos abaixo do solo para cultura T

$R_{BG(T)}$ = razão de resíduos abaixo do solo para rendimento colhido para a cultura T.

$$R_{BG(T)} = [(AG_{DM(T)} \bullet 1000 + Crop_{(T)}) / Crop_{(T)}]$$

Para estimar as emissões pela alteração do uso da terra, adota-se o método de incremento e perdas, o qual considera os valores de mudança de estoque de carbono por área que sofreu conversão, conforme pode ser observado na

Equação 19. Maiores detalhes sobre as abordagens utilizadas podem ser obtidos na nota metodológica de MUT do SEEG e no relatório de referência da quarta atualização do inventário nacional.

Equação 19: Emissões de CO₂ provenientes do uso e mudança do uso do solo²⁵.

$$\Delta C = \sum_{ijk} A_{ijk} \times (C_i - C_L)_{ijk}$$

$\Delta C =$ Mudanças no estoque de carbono, em toneladas por hectare

C_i e C_L = Incrementos e perdas anuais de carbono, em toneladas por hectare /ano

A = Área de terra, em hectares

ijk = Índices que correspondem ao tipo de clima (i), tipo de vegetação (j), e (k) prática de manejo

Além da alteração do uso da terra, também são estimadas as emissões pela queima de resíduos florestais. Para tanto, são necessárias informações sobre as áreas queimadas de origem antrópica e fatores de emissão específicos para cada tipo de bioma. A

Equação 20 apresenta a base de cálculo adotada no SEEG e inventário nacional, e que foram reproduzidas para o inventário de Minas Gerais. O IPCC (2006) utiliza a seguinte equação para estimar as emissões de N₂O e CH₄ por queima de biomassa florestal.

Equação 20: Emissões de CH₄ e N₂O provenientes do uso e mudança do uso do solo²⁶.

$$CH_4 = (\text{carbono emitido}) \times (\text{razão de emissão}) \times \frac{16}{12}$$

²⁵ SEEG – Nota Metodológica Setor de Mudanças de Uso da Terra e Florestas. Disponível em: <https://bit.ly/3uyPNyl>

²⁶ 2006 IPCC Guideline for National Gas Inventories Intergovernmental Panel on Climate Change. v. 4, cap. 2, 2006. Disponível em: <https://bit.ly/2Wq2sau>

$$N_2O = (\text{carbono emitido}) \times \left(\text{razão entre } \frac{N}{C} \right) \times (\text{razão de emissão}) \times \frac{44}{28}$$

Anexo C - Fatores de emissão

Nesta seção são apresentados os fatores de emissão (FE) utilizados no Inventário de GEE do estado de Minas Gerais. Os fatores de emissão são valores que correlacionam uma atividade antrópica com sua respectiva quantidade de GEE lançada na atmosfera, esses valores podem ser definidos de forma padronizada (*default*) pelo IPCC para atividades que tenham um perfil de emissão similar como os relacionados ao setor de IPPU, ou específicos do país como os providos pelo MCTI para a elaboração do inventário nacional de emissões e remoções antrópicas.

As tabelas com os FE utilizados neste inventário estão divididas de acordo com os quatro setores de emissões inventariados, passando pelos setores e subsetores de energia, IPPU, resíduos e AFOLU, com suas respectivas fontes.

Energia

Tabela D1: Densidades e Poder Calorífico Inferior (PCI).

Precursor	Densidade (kg/m ³)	PCI (kcal/kg)	Fonte
Biodiesel (B100)	880	9.000	Tabela VIII.9 (EPE,2020)
Etanol Anidro	791	6.750	
Etanol Hidratado	809	6.300	
Gás Liquefeito de Petróleo	552	11.100	
Gás Natural	0,74	8.800	
Gasolina Automotiva	742	10.400	

Gasolina de Aviação	726	10.600
Óleo Combustível	1.000	9.590
Óleo Diesel	840	10.100
Querosene de aviação	799	10.400

Fonte: Elaboração própria, 2022.

Tabela D2: Fatores de Emissão de GEE – Fontes Estacionárias - setor Energia.

Precursor	FE CO ₂	FE CH ₄	FE N ₂ O	FE CO ₂ b	Unidade de medida	Fonte
Subsetor – Construções Residenciais, Agricultura, Silvicultura e Pesca.						
Gás Liquefeito de Petróleo	1,73	0	0	0	kg GEE/ unidade de combustível	RR_4CN_Energia_setorial_final
Gás Natural	1.619	0,03	0,03	0	kg GEE/ unidade de combustível	
Óleo Diesel	2.632	0,04	0,02	0	kg GEE/ unidade de combustível	
Biodiesel	0	0,33	0,02	2.348	kg GEE/ unidade de combustível	
Subsetor – Doméstico						
Gás Natural	1,73	-	-	-	kg GEE/ unidade de combustível	RR_4CN_Energia_setorial_final
GLP	1.619	0,03	0,03	-	kg GEE/ unidade de combustível	
Lenha Carvoejamento	-	0,01	1,18E-4	0,6	kg GEE/ unidade de combustível	
Lenha Queima Direta	-	0,01	1,2E-4	1,24	kg GEE/ unidade de combustível	

Subsetor – Indústria de Manufatura e Construção						
Gás Natural	2	0,00	0,00	-	kg GEE/ unidade de combustível	V2_Ch2 Tabela 2.4 (IPCC, 2006) RR_4CN_Energia_Setorial_Final
GLP	1.619	0,02	0,10	-	kg GEE/ unidade de combustível	
Óleo Diesel	2.632	0,007	0,014	-	kg GEE/ unidade de combustível	
Biodiesel	-	0,10	0,02	2.348	kg GEE/ unidade de combustível	
Lenha Queima Direta	-	0,00	0,00	1,24	kg GEE/ unidade de combustível	
Óleo Combustível	3.108	0,12	0,01	-	kg GEE/ unidade de combustível	
Carvão energético (sem considerar siderurgia)	95	0	0	-	kg de GEE/GJ	BEEMG
Outras fontes primárias	100,0	0,0	0,0	-	kg de GEE/GJ	
Gás de coqueria	44,4	0,0	0,0	-	kg de GEE/GJ	
Outras fontes secundárias	73,3	0,0	0,0	-	kg de GEE/GJ	
Bagaço de cana	0,0	0,0	0,0	100,000	kg de GEE/GJ	
Carvão vegetal	0,0	0,2	0,0	112,000	kg de GEE/GJ	
Coque de carvão mineral	107,0	0,0	0,0	-	kg de GEE/GJ	
Subsetor – Construções Comerciais e Institucionais						
Gás Natural	2	0,00	0,00	-	kg GEE/ unidade de combustível	RR_4CN_Energia_setorial_final
GLP	1.619	0,02	0,10	-	kg GEE/ unidade de combustível	

Lenha Carvoejamento	-	-	-	0,60	kg GEE/ unidade de combustível
Lenha Queima Direta	-	-	-	1,24	kg GEE/ unidade de combustível
Óleo Combustível	3.108	0,06	0,01	-	kg GEE/ unidade de combustível

Fonte: Elaboração própria, 2022.

Tabela D3:Fatores de Emissão de GEE – Fontes Móveis- setor Energia.

Precursor	FE CO ₂	FE CH ₄	FE N ₂ O	FE CO ₂ b	Unidade de medida	Fonte
Transporte Rodoviário						
Gasolina C	1.634	0,54	0,22	408	kg de GEE/unidade de combustível	RR_4CN_Energia_setorial_final
Álcool Hidratado	-	0,41	0,13	1.511	kg de GEE/unidade de combustível	
Óleo Diesel	2.448	0,18	0,10	175	kg de GEE/unidade de combustível	
GNV	2	0,00	0,00		kg de GEE/unidade de combustível	
Biodiesel	-	-	-	-	kg de GEE/unidade de combustível	
Transporte Ferroviário						
Óleo Diesel	2.436	0,15	1,01	175	kg de GEE/unidade de combustível	RR_4CN_Energia_setorial_final
Biodiesel	-	0,14	0,95	2.348	kg de GEE/unidade de combustível	
Transporte Aéreo						
Gasolina de Aviação	2.255	0	0	-	kg de GEE/unidade de combustível	V2_Ch3 Tabela 3.6.4 Tabela 3.6.5 (IPCC,2006)
Querosene de Aviação	2.488	0,00	0,07	2.488	kg de GEE/unidade de combustível	

Fonte: Elaboração própria, 2022.

Resíduos

Tabela D4: Fatores de Emissão de GEE – Tratamento de efluentes.

Tipo de tratamento de efluente	MCF	Fonte
Esgoto coletado e não tratado – descarte em corpos hídricos	0,11	V5_Ch6 Tabela 6.3 (IPCC,2019)
Esgoto não coletado e não tratado – esgoto a céu aberto	0,5	
Lagoa Facultativa	0,3	
Lagoa Aerada	0,3	
Reatores Anaeróbios	0,8	
Lagoa Anaeróbia	0,8	
Lodo ativado	0,3	
ETEs Simplificada (fossas sépticas e tanques)	0,5	
EPC - Estação de pré-condicionamento	0,035	
Outros	0,5	

Fonte: Elaboração própria, 2022.

Tabela D5: Fatores de Emissão de GEE – Tratamento de resíduos sólidos.

Tipo de destinação	FE CH ₄ (tGEE/t)	FE N ₂ O (tGEE/t)	Fonte
Queima a céu aberto	6,5E-3	1,5E-4	RR_4CN_RESÍDUOS (MCTI, 2020)
RSS - incineração	6,0E-6	1E-4	

IPPU

Tabela D6: Fatores de Emissão de GEE - Produção industrial.

Atividade fonte de emissão	FE CO ₂	FE CH ₄	FE N ₂ O	FE SF ₆	Unidade de medida	Fonte
Produção de cimento	371	-	-	-	kg GEE/unidade de produção	RR_4CN_IPPU_Industrias_Final (MCTI, 2020)
Produção de Cerâmica	23	-	-	-	kg GEE/unidade de produção	RR_4CN_IPPU_Industrias_Final (MCTI, 2020)
Produção de Amônia	1.460	-	-	-	kg GEE/unidade de produção	RR_4CN_IPPU_Industrias_Final (MCTI, 2020)
Produção de Magnésio	5.130	-	-	1,00	kg GEE/unidade de produção	RR_4CN_IPPU_Industrias_Final (MCTI, 2020)
Produção de Cal	880	-	-	1,00	kg GEE/unidade de produção	V3_Ch2 Tabela 2.1 (IPCC,2006)

Fonte: Elaboração própria, 2022.

Tabela D7: Fatores de Emissão de GEE com base no consumo de combustíveis na produção de aço e ferro-gusa.

Processo industrial	Combustível redutor	FE CO ₂ [tCO ₂ /ktep]	FE CH ₄ [tCH ₄ /TJ]	FE N ₂ O [tN ₂ O/TJ]	Fonte
Produção de Aço e Ferro-gusa	Carvão vapor	3961	10	300	Nota Metodológica Processos Industriais e Uso de Produtos
	Coque de carvão mineral	4480	10	173	
	Coque de petróleo	4082	3	173	
	Carvão vegetal	4460*	200	100	

*Emissão de CO₂ considerada biogênica.

Fonte: Elaboração própria, 2022.

Tabela D 8: Fatores de Emissão de GEE com base no consumo de combustíveis na produção de ferroligas

Processo industrial	Combustível redutor	FE CO ₂ [tCO ₂ /t redutor]	FE CH ₄ [kg CH ₄ /kg]	Fonte
Produção de Ferroliga	Carvão betuminoso	3,1	-	RR_4CN_IPPU_Industrias_Final (MCTI, 2020)
	Coque de carvão mineral	3,3	-	
	Coque de petróleo	3,5	-	
	Carvão vegetal	3,5	-	
Produção de Ferroliga de Silício	NA	-	1	

Fonte: Elaboração própria, 2022.

AFOLU

Tabela D9:Fatores de Emissão de GEE - AFOLU.

Precursor	FE CO ₂	FE CH ₄	FE N ₂ O	Unidade de medida	Fonte
Subsetor – Pecuária – Fermentação Entérica					
Bovinos de leite de alta produção	-	82	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
Bovinos de leite de baixa produção	-	85	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
Bovinos de corte / menores que 1 ano	-	34	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	

Bovinos de corte / de 1 a 2 anos	-	52	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	RR_4CN_3.A_FERMENTAÇÃO ENTÉRICA (MCTI, 2020)
Bovinos de corte / touros	-	71	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
Bovinos de corte / machos de corte > 2 anos (não confinados)	-	63	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
Bovinos de corte / fêmeas de corte > 2 anos (não confinadas)	-	73	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
Bovinos de corte / outros animais > 2 anos (confinados)	-	60	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
ovinos	-	5	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	V4_Ch10 tabela 10.10 (IPCC, 2006)
suínos	-	1,0	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
asininos	-	10	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
muares	-	10	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
bubalinos	-	55	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
caprinos	-	5	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
equinos	-	18	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
Subsetor – Pecuária – Manejo de dejetos					
Bovinos de leite de alta produção	-	5,3	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	RR_4CN_3.B_MANEJO DE DEJETOS (MCTI, 2020)
Bovinos de leite de baixa produção	-	3,1	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
Bovinos de corte / menores que 1 ano	-	1,0	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	

Bovinos de corte / de 1 a 2 anos	-	1,3	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
Bovinos de corte / touros	-	1,7	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
Bovinos de corte / machos de corte > 2 anos (não confinados)	-	1,5	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
Bovinos de corte / fêmeas de corte > 2 anos (não confinadas)	-	1,8	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
Bovinos de corte / outros animais > 2 anos (confinados)	-	3,5	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
suínos – reprodutores industriais	-	32,9	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
suínos – reprodutores subsistência	-	1,5	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
suínos – aleitamento/creche industrial	-	15,8	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
suínos – aleitamento/creche subsistência	-	0,7	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
suínos – terminação industrial	-	21,1	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
suínos – terminação subsistência	-	1,0	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
ovinos	-	0,20	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
bubalinos	-	2	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
caprinos	-	0,22	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
equinos	-	2,19	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	

muaras	-	1,20	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
asininos	-	1,20	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	
aves	-	0,02	-	kg CH ₄ /cabeça/ano	

Subsetor – Agricultura – Fertilizantes Sintéticos

Atividade	FE direta (t N ₂ O /ton N do fertilizante/an o)	FE indireta volatilização (t N ₂ O /ton N do fertilizante/an o)	FE indireta lixiviação (t N ₂ O /ton N do fertilizante/an o)	Fator de emissão (t CO ₂ /ton N do fertilizante/an o)	Fonte
Ureia	8,59E-03	2,58E-03	1,13E-01	0,891	RR_4CN_3.D_SOLOS MANEJADOS_3.G_CALAGE M E 3.H_APLICAÇÃO DE UREIA (MCTI, 2020)
Outras fontes	7,13E-03	7,13E-04	9,41E-04	-	
Calcário	-	-	-	0,477	

Subsetor – Agricultura – Cultivo de Arroz

Precursor	FE CO ₂	FE CH ₄	FE N ₂ O	Unidade de medida	Fonte
Arroz	-	-	2,24	kg/ha.dia	RR_4CN_3.C_Cultivo de Arroz_final (MCTI,2020)

Subsetor – Agricultura – Fertilizantes Orgânicos

Atividade	Fator de emissão direta	Fator de emissão indireta volatilização	Fator de emissão indireta lixiviação	Unidade	Fonte
Torta-filtro	9,43E-03	1,89E-03	2,12E-03	(t N ₂ O /ton N do fertilizante/ano)	RR_4CN_3.D_SOLOS MANEJADOS_3.G_CALAGE

Vinhaça	4,07E-03	0,00E+00	1,76E-03	(t N ₂ O /ton N do fertilizante/ano)	M E 3.H_APLICAÇÃO DE UREIA (MCTI, 2020)
---------	----------	----------	----------	---	---

Fonte: Elaboração própria

Tabela D10: Fatores de emissão de GEE - Solos Orgânicos.

Subsetor – Solos Orgânicos					
Precursor	FE CO ₂	FE CH ₄	FE N ₂ O	Unidade de medida	Fonte
Manejo agrícola e de pastagem, tropical	-	-	25,143	kg N ₂ O / ha	RR_4CN_3.D_SOLOS MANEJADOS_3.G_CALAGEM E 3.H_APLICAÇÃO DE UREIA (MCTI, 2020)
Reflorestamento, tropical	-	-	12,571	kg N ₂ O / ha	

Fonte: Elaboração própria, 2022.

Tabela D11: Fatores de emissão de GEE – Dejetos Depositados Diretamente no Solo.

Subsetor - Solos manejados Dejetos de animais					
Categoria	Fator de Emissão Direta	FE Indireta volatilização	FE Indireta lixiviação	Unidade	Fonte
Bovinos de leite de alta produção	0,013	0,003	0,001	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Bovinos de leite de baixa produção	0,033	0,007	0,002	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Bovinos de corte / menores que 1 ano	0,000	0,000	0,000	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Bovinos de corte / de 1 a 2 anos	0,000	0,000	0,000	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Bovinos de corte / touros	0,000	0,000	0,000	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Bovinos de corte / machos de corte > 2 anos (não confinados)	0,000	0,000	0,000	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	

Bovinos de corte / fêmeas de corte > 2 anos (não confinadas)	0,000	0,000	0,000	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	RR_4CN_3.D_SOLOS MANEJADOS_3.G_CALAGEM E 3.H_APLICAÇÃO DE UREIA (MCTI, 2020)
Bovinos de corte / outros animais > 2 anos (confinados)	0,267	0,053	0,016	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Suínos / Reprodutores – industrial	0,135	0,027	0,008	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Suínos / Reprodutores – subsistência	0,000	0,000	0,000	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Suínos / Cria/recria – industrial	0,017	0,003	0,001	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Suínos / Cria/recria – subsistência	0,000	0,000	0,000	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Suínos / Terminação – industrial	0,064	0,013	0,004	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Suínos / Terminação – subsistência	0,000	0,000	0,000	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Galinhas poedeiras	0,004	0,001	0,000	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Pintos, frangos e galos	0,003	0,001	0,000	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Codornas	0,000	0,000	0,000	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Caprinos	0	0	0	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Ovinos	0	0	0	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Bubalinos	0	0	0	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Equinos	0	0	0	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Muare	0	0	0	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	

Asininos	0	0	0	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
----------	---	---	---	--------------------------------------	--

Fonte: Elaboração própria, 2022.

Tabela D12:Fatores de emissão de GEE – Fertilizantes Orgânicos - Esterco.

Subsetor - Solos Manejados Fertilizantes Orgânicos					
Categoria	Fator de Emissão Direta	Fator de Emissão Indireta Volatilização	Fator de Emissão Indireta lixiviação	Unidade	Fonte
Bovinos de leite de alta produção	0,013	0,003	0,001	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	RR_4CN_3.D_SOLOS MANEJADOS_3.G_CALAGEM E 3.H_APLICAÇÃO DE UREIA (MCTI, 2020)
Bovinos de leite de baixa produção	0,033	0,007	0,002	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Bovinos de corte / menores que 1 ano	0,000	0,000	0,000	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Bovinos de corte / de 1 a 2 anos	0,000	0,000	0,000	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Bovinos de corte / touros	0,000	0,000	0,000	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Bovinos de corte / machos de corte > 2 anos (não confinados)	0,000	0,000	0,000	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Bovinos de corte / fêmeas de corte > 2 anos (não confinadas)	0,000	0,000	0,000	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Bovinos de corte / outros animais > 2 anos (confinados)	0,267	0,053	0,016	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Suínos / Reprodutores – industrial	0,135	0,027	0,008	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	
Suínos / Reprodutores – subsistência	0,000	0,000	0,000	(kg N ₂ O / cabeça / ano)	

Suínos / Cria/recria – industrial	0,017	0,003	0,001	(kg N ₂ O / cabeça / ano)
Suínos / Cria/recria – subsistência	0,000	0,000	0,000	(kg N ₂ O / cabeça / ano)
Suínos / Terminação – industrial	0,064	0,013	0,004	(kg N ₂ O / cabeça / ano)
Suínos / Terminação – subsistência	0,000	0,000	0,000	(kg N ₂ O / cabeça / ano)
Galinhas poedeiras	0,004	0,001	0,000	(kg N ₂ O / cabeça / ano)
Pintos, frangos e galos	0,003	0,001	0,000	(kg N ₂ O / cabeça / ano)
Codornas	0,000	0,000	0,000	(kg N ₂ O / cabeça / ano)
Caprinos	0	0	0	(kg N ₂ O / cabeça / ano)
Ovinos	0	0	0	(kg N ₂ O / cabeça / ano)
Bubalinos	0	0	0	(kg N ₂ O / cabeça / ano)
Equinos	0	0	0	(kg N ₂ O / cabeça / ano)
Muare	0	0	0	(kg N ₂ O / cabeça / ano)
Asininos	0	0	0	(kg N ₂ O / cabeça / ano)

Fonte: Elaboração própria, 2022.

Tabela D13:Estoque de carbono no solo por tipo de uso.

Tipo de formação	tC/hectare		
	Caatinga	Cerrado	Mata Atlântica
1.1. Formação Florestal	101,9	70,1	127,8
1.1. Formação Florestal (secundária)	44,8	30,8	56,2
1.2. Formação Savânica	19,9	40,0	48,3
1.2. Formação Savânica (secundária)	8,7	17,6	21,2
1.3. Mangue	170,5	38,3	83,1
1.4. Restinga Arborizada	147,09	34,76	103,74
2.1. Campo Alagado e Área Pantanosa	81,89	36,21	36,21
2.2. Formação Campestre	12,8	24,8	13,9
2.3. Apicum	n/a	n/a	n/a
2.4. Afloramento Rochoso	0	0	0
2.5. Outras Formações não Florestais	12,8	24,8	13,9
3.1. Pastagem	1,2	7,6	2,6
3.2.1.1. Soja	0,6	5,0	3,8
3.2.1.2. Cana	24,8	21,0	23,5

3.2.1.3. Arroz	0,6	5,0	3,8
3.2.1.4. Outras Lavouras Temporárias	0,6	5,0	3,8
3.2.2.1. Café	24,8	21,0	23,5
3.2.2.2. Citrus	24,8	21,0	23,5
3.2.2.3. Outras Lavouras Perenes	24,8	21,0	23,5
3.3. Silvicultura	42,1	42,1	42,1
3.4. Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,6	5,0	3,8
4.1. Praia e Duna	0	0	0
4.2. Área Urbanizada	0	0	0
4.3. Mineração	0	0	0
4.4. Outra Área Não Vegetada	0	0	0
5.1. Rio, Lago e Oceano	0	0	0
5.3. Aquicultura	0	0	0
6. Não observado	0	0	0

Fonte: Elaboração própria, 2022, com base em dados apresentados em Nota Metodológica - SEEG 9 - Setor Mudança de Uso da Terra e Florestas.

UK PACT

www.ukpact.co.uk

For any enquiries, please get in touch via email at communications@ukpact.co.uk