



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
E INFRAESTRUTURA

Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado do Rio Grande do Sul

2018–2023

Relatório Final 2025

Para fazer o download deste e outros materiais, visite: <https://www.proclima2050.rs.gov.br/inicial>

Este documento foi coordenado pelo Governo do Estado do Rio Grande do Sul, através da Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura, por meio da Assessoria do Clima, e realizado pelo ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade. Trata-se do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado do Rio Grande do Sul (2018-2023), desenvolvido no âmbito do processo de Conformidade Climática do Estado.

Este trabalho pode ser copiado, redistribuído e adaptado para fins não comerciais, desde que seja devidamente citado. Em qualquer utilização deste trabalho, não deve haver qualquer sugestão de que o ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade endossa qualquer organização, produto ou serviço específico.

Citação sugerida:

Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura e ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade. Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado do Rio Grande do Sul (2018-2023).

Porto Alegre: Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura e ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

ISBN 978-85-99093-54-2

Para informações adicionais, por favor, contatar:

ICLEI América do Sul, Rua Marquês de Itu, 70 - Vila Buarque, São Paulo – Brasil, 01223-000
iclei-sams@iclei.org.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Rio Grande do Sul (Estado). Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura
Inventário de emissões de gases de efeito estufa do Estado do Rio Grande do Sul
[livro eletrônico] : 2018-2023 / Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Secretaria
do Meio Ambiente e Infraestrutura, ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade.
-- Porto Alegre, RS : ICLEI Governos Locais pela Sustentabilidade, 2026.
PDF

Bibliografia
ISBN 978-85-99093-54-2

1. Agropecuária 2. Emissões de gases efeito estufa 3. Meio ambiente 4. Rio
Grande do Sul (RS) I. ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade. II. Título.

26-362961.3

CDD-363.7392

Índices para catálogo sistemático:

1. Mudança climática : Efeito estufa : Problemas sociais 363.7392
Eliete Marques da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9380



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
E INFRAESTRUTURA

Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado do Rio Grande do Sul

2018-2023

Relatório Final 2025

Este produto é parte da Conformidade Climática do Estado do Rio Grande do Sul



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
E INFRAESTRUTURA

Governo do Estado do Rio Grande do Sul

Eduardo Leite - *Governador*

Gabriel Souza - *Vice-Governador*

Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA)

Marjorie Kauffmann - *Secretária do Meio Ambiente e Infraestrutura*

Marcelo Camardelli Rosa - *Secretário Adjunto do Meio Ambiente e Infraestrutura*

Daniela Mueller de Lara - *Coordenadora da Assessoria do Clima*

Mariana Pavlick Pereira - *Assessora Técnica da Assessoria do Clima*

Diogo Fernando Heck - *Assessor Técnico da Assessoria do Clima*

Ricardo Andreazza - *Assessor Técnico da Assessoria do Clima*

Orozimbo Silveira Carvalho - *Especialista em Infraestrutura da Assessoria do Clima*

Luiz Antonio Freitas Junior - *Especialista em Tecnologia da Informação e Comunicação*

Maria Eduarda de Oliveira da Silva - *Estagiária da Assessoria do Clima*

Grupo Executivo

Rafael Maraschin Guigou, Valmir Zanatta, Liana Barbizan Tissiani - *Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura*

Leonardo Peraça da Silva, Carla Marle Paulitsch - *Secretaria de Desenvolvimento Econômico*

Alexandre Batista Scheifler, Cassio Martinez Machado - *Secretaria de Desenvolvimento Rural*

Lucas Corrêa Born - *Secretaria Estadual da Saúde*

Marlon Silva de Souza, Edinei Rodrigues Pavão - *Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Metropolitano*

Daiane Boelhouver Menezes, Itzayana González Ávila, Fernando Preusser de Matt - *Secretaria da Reconstrução Gaúcha*

Ana Maria Hermes, Ana Amélia Da Cas Lima Duarte - *Defesa Civil*

Madalena Heinen, Alexandra Cruz Passuelo - *Secretaria de Inovação, Ciência e Tecnologia*

Ari Borges dos Santos - *Secretaria de Obras Públicas*

Álvaro Luiz de Melo Machado - *Secretaria de Turismo*

Vera Inêz Salgueiro Lermen, Maria do Socorro Ramos Barbosa - *Secretaria de Planejamento e Gestão e Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais*

Tiago da Silva Pinz, Wesley Henrique do Carmo Oliveira - *Secretaria da Fazenda*



ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade

Secretaria Executiva

Rodrigo Perpétuo - *Secretário Executivo ICLEI América do Sul*

Rodrigo Corradi - *Secretário Executivo Adjunto e Diretor ICLEI Brasil*

Armelle Cibaka - *Gerente de Planejamento, Gestão e Conhecimento*

Coordenação Técnica

Keila Ferreira - *Coordenadora Técnica Brasil*

Marília Israel - *Coordenadora Técnica Regional*

Stephania Aleixo - *Coordenadora Técnica Regional*

Project Management Office

Maria Fernandes Caldas - *Senior Fellow de Desenvolvimento Sustentável*

Coordenação e Desenvolvimento Técnico do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa

Léa Gejer - *Coordenadora Técnica Brasil*

Iris Coluna - *Assessora da Área Técnica Regional*

Joice Oliveira - *Analista da Área Técnica Regional*

Gustavo Sanches da Silva - *Analista da Área Técnica Brasil*

Equipe de Comunicação

Fernanda Gouveia - *Analista de Comunicação Regional*

Gustavo Barboza - *Assistente de Comunicação Regional*

Elaboração dos Mapas

Tiago Mello - *Analista da Área Técnica Regional*

Colaboradores Externos

Brisa Soluções Ambientais

Tiago Cisalpino - *Consultor*

Larissa Farnetti - *Consultora*

Diagramação

Max Tango - *Arquiteto e Designer*

Grupo Consultivo

Fórum Gaúcho de Mudanças Climáticas

Comitê Internacional

Adriana Campelo - *Estratégia Internacional das Nações Unidas para a Redução de Desastres (UNDRR)*
 Elkin Velásquez - *Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos (ONU Habitat)*
 Gustavo Matsubara - *Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD)*
 Javier Garduño Arredondo - *Resilient Cities Network*
 Leta Vieira - *Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos (ONU Habitat)*
 Tiago Ciarallo - *Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD)*
 Vítor Leal Pinheiro - *Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA)*

Comitê Nacional

Alice de Almeida Vasconcellos de Carvalho - *Ministério das Cidades*
 Ana Paula Contador Packer - *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)*
 Celso Von Randow - *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)*
 Clenio Nailton Pillon - *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)*
 Cristilene Delfino - *Ministério da Saúde*
 Daniela Dantas de Menezes Ribeiro - *Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima*
 Danielle Barros Ferreira - *Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)*
 Doracy Karoline Simões de Medeiros - *Ministério da Saúde*
 Eduardo Vélez Martin - *Geo Karten Consultoria em Tecnologia da Informação (Rede Map Biomas)*
 José Antônio Marengo Orsini - *Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN)*
 Marcelo Schneider - *Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)*
 Osvaldo Luiz Leal de Moraes - *Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação*
 Rafael Pereira Machado - *Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC)*
 Sílvia Midori Saito - *Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN)*
 William Wills - *Centro Brasil no Clima*
 Yuri Rafael Della Giustina - *Ministério das Cidades*

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Potencial de Aquecimento Global (GWP, sigla em inglês) dos Gases de Efeito Estufa.....	31
Tabela 2: Emissões brutas e líquidas de GEE no Rio Grande do Sul por setor (2018-2023).....	75
Tabela B1: Fatores de emissão de GEE para o subsetor de Agropecuária.....	89
Tabela B2: Densidades e poder calorífico inferior (PCI).....	94
Tabela B3: Fatores de emissão de GEE para o setor de Energia.....	94
Tabela B4: Fatores de emissão de GEE para resíduos sólidos.....	99
Tabela B5: Fatores de emissão para tratamento e despejo de águas residuárias.....	99
Tabela B6: Fatores de emissão de GEE para o setor de IPPU.....	99
Tabela B7: Uso não energético de produtos derivados de petróleo no setor de IPPU.....	99
Tabela C1: Unidades de Conservação do Rio Grande do Sul.....	117
Tabela C2: Terras Indígenas regularizadas no Estado do RS.....	121

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Fontes de emissão dos diferentes GEE emitidos em atividades antrópicas.....	22
Quadro 2: Fontes de emissão de GEE por setor econômico.....	23
Quadro 3: Etapas da Conformidade Climática.....	26
Quadro 4: Sistema de Governança Climática do Rio Grande do Sul.....	28
Quadro 5: Hierarquia de níveis para inventário de GEE.....	30
Quadro 6: Informações sobre o Estado do Rio Grande do Sul.....	35
Quadro A1: Atividades fontes de emissão para o setor de Agropecuária.....	84
Quadro A2: Atividades fontes de emissão para o setor de LULUCF.....	85
Quadro A3: Atividades fontes de emissão para o setor de Energia.....	85
Quadro A4: Atividades fontes de emissão para o setor de Resíduos.....	87
Quadro A5: Atividades fontes de emissão para o setor de IPPU.....	88

LISTA DE SIGLAS

ABRACAL	Associação Brasileira dos Produtos de Calcário Agrícola	EPE	Empresa de Pesquisa Energética	LULUCF	Land use, Land-use change and Forestry (em português, Agropecuária e Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas)	SEMA	Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura
AFOLU	Agricultura, Floresta e outros Usos da Terra	ETE	Estação de Tratamento de Efluentes	m³	Metro cúbico	SF6	Hexafluoreto de Enxofre
AGEFLOR	Associação Gaúcha de Empresas Florestais	FARSUL	Federação da Agricultura do Rio Grande do Sul	MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação	SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico	FE	Fatores de Emissão	MMA	Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima	SIN	Sistema Interligado Nacional
AR5	Fifth Assessment Report (em português, Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática)	FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental	MtCO_{2e}	Milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente	SINDILAT	Sindicato da Indústria de Laticínios e Produtos Derivados
ARVC	Análise de Risco e Vulnerabilidade Climática	F-GASES	Gases fluorados	MUT	Mudança do Uso da Terra e Floresta	SIRENE	Sistema de Registro Nacional de Emissões
AsClima	Assessoria do Clima	FGMC	Fórum Gaúcho de Mudanças Climáticas	N	Nitrogênio	SPGG	Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão
C	Carbono	FIERGS	Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul	N2O	Óxido nitroso	SNIC	Sindicato Nacional da Indústria do Cimento
CCARC	Comitê Científico de Adaptação e Resiliência Climática	FUNDESA	Fundo de Desenvolvimento e Defesa Sanitária Animal do Estado do Rio Grande do Sul	NDC	Contribuições Nacionalmente Determinadas	SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
CDM	Clean Development Mechanism (em português - MDL: Mecanismo de Desenvolvimento Limpo)	GC	Grupo de Coordenação	ONU	Organização das Nações Unidas	SINISA	Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico
CEPEA-Esalq	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"	GDA	Grupo de Diálogo Ampliado	PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas	tCO_{2e}	Tonelada(s) de dióxido de carbono equivalente
CH₄	Metano	GEE	Gases de Efeito Estufa	PEAC	Programa de Educação Ambiental Colaborativo	TJ	Terajoule
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil	GEx	Grupo Executivo	PEPSA	Programa Estadual de Pagamentos por Serviços Ambientais	TIs	Terras Indígenas
CO₂	Dióxido de carbono	GNV	Gás Natural Veicular	PFC	Perfluorcarbonos	UCs	Unidades de Conservação
CO_{2e}	Dióxido de carbono equivalente	GWP	Global Warming Potential (em português, Potencial de Aquecimento Global)	PIB	Produto Interno Bruto	UNEP	United Nations Environment Programme
COP 29	Conference of the Parties of the UNFCCC (em português, 29ª Conferência das Partes)	HFC	Hidrofluorcarbonos	PLANESAN-RS	Plano Estadual de Saneamento do Rio Grande do Sul	UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
DEE	Departamento de Energia	Ibá	Indústria Brasileira de Árvores	Plano ABC+RS	Plano Estadual para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária - ABC no Estado do Rio Grande do Sul	UNICA	União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia
DETRAN	Departamento Estadual de Trânsito	IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	PNAD Contínua	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua	VAB	Valor Adicionado Bruto
DDOC	Massa de carbono orgânico degradável depositada	IEGEE	Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa	PROVEG-RS	Programa Estadual de Recuperação da Vegetação Nativa	VTI	Valor da Transformação Industrial
DOC	Carbono orgânico degradável	IEMA	Instituto de Energia e Meio Ambiente	REFAP	Refinaria Alberto Pasqualini		
EFDB	IPCC Emission Factor Database (em português, Fatores de Emissão - Banco de Dados do IPCC)	ILPF	Integração Lavoura Pecuária Floresta	RPPN	Reservas Particulares do Patrimônio Natural		
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária	IN	Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas	RS	Estado do Rio Grande do Sul		
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural	INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais	RSS	Resíduos Sólidos de Saúde		
EPA	United States Environmental Protection Agency	IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (em português, Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática)	SEAPI	Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação		
		IPPU	Processos Industriais e Uso de Produtos	SDR	Secretaria de Desenvolvimento Rural		
		IRGA	Instituto Rio Grandense do Arroz	SEEG	Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa		
		ktep	Milhares de tonelada de equivalente de petróleo	SEFAZ	Secretaria da Fazenda		
		L	Litro				

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapas de mudança de precipitação observada de 1901 a 2010 e de 1951 a 2010.....	21
Figura 2: Aumento da temperatura média no Brasil de 1850 a 2020.....	24
Figura 3: Percentual de ocorrências de eventos extremos em 2024.....	25
Figura 4: Etapas da Metodologia.....	27
Figura 5: Governança Climática do Rio Grande do Sul.....	28
Figura 6: Mapa de localização do Estado do Rio Grande do Sul.....	33
Figura 7: Evolução do PIB do Brasil e do Rio Grande do Sul de 2011 a 2021.....	34
Figura 8: Cobertura e uso da terra do Rio Grande do Sul em 2023.....	35
Figura 9: Matriz energética do Rio Grande do Sul em 2023.....	37
Figura 10: Setores consumidores de energia do Rio Grande do Sul em 2023.....	37
Figura 11: Percentual da frota por tipo e combustível do Rio Grande do Sul em 2023.....	38
Figura 12: Percentual de consumo de combustíveis em transportes do Rio Grande do Sul em 2023.....	38
Figura 13: Tecnologias de destinação de resíduos do Rio Grande do Sul em 2023.....	39
Figura 14: Quantidade de estabelecimentos industriais do Rio Grande do Sul em 2023.....	40
Figura 15: Emissões brutas e líquidas no Rio Grande do Sul (2018-2023).....	42
Figura 16: Emissões brutas por setor no Rio Grande do Sul (2018-2023).....	42
Figura 17: Perfil de emissões brutas por setor.....	43
Figura 18: Emissões líquidas por setor no Rio Grande do Sul (2018-2023).....	44
Figura 19: Perfil de emissões líquidas por setor.....	44
Figura 20: Comportamento das emissões de Agropecuária (2018-2023).....	45
Figura 21: Emissões por categoria em Agropecuária (2018-2023).....	46
Figura 22: Perfil de emissões em Agropecuária (2018-2023).....	46
Figura 23: Emissões por rebanho entre 2018 e 2023.....	47
Figura 24: Emissões por técnica ou atividade em solos manejados entre 2018 e 2023.....	48
Figura 25: Comportamento de emissões e remoções de LULUCF (2018-2023).....	49
Figura 26: Categorias emissoras em LULUCF entre 2018 e 2023.....	49
Figura 27: Emissões em Alterações de Uso da Terra entre 2018 e 2023.....	50
Figura 28: Remoções em LULUCF entre 2018 e 2023.....	51
Figura 29: Comportamento das emissões de Energia (2018-2023).....	52
Figura 30: Emissões por subsetor em Energia entre 2018 e 2023.....	52
Figura 31: Perfil de emissões em Energia.....	53
Figura 32: Emissões da Queima de Combustíveis Fósseis entre 2018 e 2023.....	53
Figura 33: Emissões por tipo de combustível entre 2018 e 2023.....	54
Figura 34: Emissões por modal de transporte (2018-2023).....	55
Figura 35: Emissões por transporte rodoviário no Rio Grande do Sul (2018-2023).....	55
Figura 36: Emissões de fontes energéticas no transporte rodoviário (2018-2023).....	56
Figura 37: Emissões da aviação civil no Rio Grande do Sul (2018-2023).....	56

Figura 38: Emissões de fontes energéticas na aviação civil (2018-2023).....	57
Figura 39: Emissões de transporte ferroviário no Rio Grande do Sul (2018-2023).....	57
Figura 40: Emissões de fontes energéticas no transporte ferroviário (2018-2023).....	58
Figura 41: Emissões de transporte hidroviário no Rio Grande do Sul (2018-2023).....	58
Figura 42: Emissões de fontes energéticas no transporte hidroviário (2018-2023).....	59
Figura 43: Emissões por categoria de emissões fugitivas (2018-2023).....	59
Figura 44: Emissões fugitivas por tipo de fonte energética entre 2018 e 2023.....	60
Figura 45: Comportamento das emissões de Resíduos (2018-2023).....	60
Figura 46: Emissões de Resíduos por categoria entre 2018 e 2023.....	61
Figura 47: Perfil de emissões em Resíduos.....	61
Figura 48: Emissões por disposição final no Rio Grande do Sul (2018-2023).....	62
Figura 49: Resíduos coletados no Rio Grande do Sul (2018-2023).....	62
Figura 50: Toneladas de metano recuperado (2018-2023).....	63
Figura 51: Fração de metano recuperado e não recuperado (2018-2023).....	63
Figura 52: Emissões por tratamento biológico no Rio Grande do Sul (2018-2023).....	64
Figura 53: Emissões por incineração e queima a céu aberto no Rio Grande do Sul (2018-2023).....	64
Figura 54: Emissões por águas residuárias domésticas no Rio Grande do Sul (2018-2023).....	65
Figura 55: Média de emissão por sistema no Rio Grande do Sul (2018-2023).....	65
Figura 56: Taxa de atendimento da população na coleta e tratamento de esgoto (2018-2023).....	65
Figura 57: Emissões por águas residuárias industriais no Rio Grande do Sul (2018-2023).....	66
Figura 58: Média de emissão por produção industrial no Rio Grande do Sul (2018-2023).....	66
Figura 59: Comportamento das emissões de IPPU (2018-2023).....	67
Figura 60: Perfil de emissões em IPPU.....	67
Figura 61: Emissões das categorias em IPPU entre 2018 e 2023.....	68
Figura 62: Emissões brutas no Brasil e Rio Grande do Sul (2018-2023).....	69
Figura 63: Emissões líquidas no Brasil e Rio Grande do Sul (2018-2023).....	69
Figura 64: Comparação das emissões no Rio Grande do Sul (2018-2023).....	70
Figura 65: Comparação das emissões no Rio Grande do Sul (1990-2023).....	71
Figura 66: Comparação das emissões entre Estados brasileiros (2018-2023).....	72
Figura 67: Emissão por habitante entre Estados brasileiros no ano de 2022.....	72
Figura 68: Emissão por PIB entre Estados brasileiros no ano de 2021.....	73

SUMÁRIO

PRÓLOGO.....	16
PREFÁCIO.....	17
AÇÃO CLIMÁTICA NO RIO GRANDE DO SUL.....	18
SOBRE O IEGEE DO RIO GRANDE DO SUL.....	20
1. INTRODUÇÃO.....	21
1.1. Mudança Climática.....	21
1.1.1. O Fenômeno do Efeito Estufa.....	22
1.2. Gases de Efeito Estufa (GEE) e suas Fontes..	22
1.3. Impactos da Mudança Climática.....	23
1.4. Estruturador relatório.....	26
2. METODOLOGIA.....	27
2.1. Governança.....	28
2.2. Limites do Inventário e Caracterização do Território.....	29
2.3. Coleta e Validação de Dados.....	31
2.4. Métodos de Cálculo das Emissões e Remoções.....	32
2.5. Elaboração do relatório e lançamento.....	32
3. CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.....	33
3.1. Cobertura e uso da terra.....	35
3.2. Energia.....	37
3.3. Transportes.....	38
3.4. Resíduos.....	39
3.5. Processos Industriais.....	40
4. RESULTADOS.....	41
4.1. Visão geral.....	41
4.1.1. Agropecuária.....	45
4.1.2. Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF).....	48
4.1.3. Energia.....	52
4.1.4. Resíduos.....	60
4.1.5. Processos Industriais e Uso de Produtos.....	67
4.2. Comparações.....	68
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
REFERÊNCIAS.....	78
ANEXO I – Fontes de Dados.....	84
AGROPECUÁRIA.....	84
LULUCF.....	85
ENERGIA.....	85
RESÍDUOS.....	87
IPPU.....	88
ANEXO II – Fatores de Emissão.....	89
AGROPECUÁRIA.....	89
LULUCF.....	94
ENERGIA.....	94
RESÍDUOS.....	99
IPPU.....	99
ANEXO III – Equações.....	100
AGROPECUÁRIA.....	100
LULUCF.....	110
ENERGIA.....	110
RESÍDUOS.....	111
IPPU.....	116
ANEXO IV – Tabelas.....	117

SOBRE O ICLEI

O ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade é uma rede global de mais de 2.500 governos locais e regionais comprometida com o desenvolvimento urbano sustentável. Ativos em mais de 130 países, influenciamos as políticas de sustentabilidade e impulsionamos a ação local para um desenvolvimento urbano sustentável de zero carbono, baseado na natureza, equitativo, resiliente e circular, promovendo mudanças sistêmicas.

Nossa Rede e equipe de especialistas trabalham juntos oferecendo acesso a conhecimento, parcerias e capacitações para gerar mudanças sistêmicas. Fundado em 1990 e com mandato para atuar como ponto focal da Constituency de Governos Locais e Autoridades Municipais (LGMA) nas COPs sobre Clima, Biodiversidade e Desertificação, o ICLEI dá voz aos governos locais em encontros internacionais e articula a implementação da cooperação internacional com os governos locais.

Com atuação na América Latina desde 1994, o ICLEI América do Sul conecta seus 157 associados

em 8 países a este movimento global, com três escritórios nacionais estabelecidos no Brasil, Colômbia e Argentina. Na região, buscamos promover as seguintes estratégias aos governos locais associados:

1. **ACESSO A INFORMAÇÕES SOBRE ACORDOS INTERNACIONAIS; VISIBILIDADE E POSICIONAMENTO NOS DEBATES INTERNACIONAIS;**
2. **OPORTUNIDADES DE INTERCÂMBIO TÉCNICO E TROCA DE EXPERIÊNCIAS; E**
3. **ACESSO ÀS METODOLOGIAS INOVADORAS DISPONÍVEIS NO PORTFÓLIO DE SOLUÇÕES.**

Dessa forma, o ICLEI América do Sul busca fortalecer a capacidade de seus membros em desenvolver e aplicar políticas públicas, contribuindo para tornar as cidades mais resilientes, sustentáveis e alinhadas aos compromissos climáticos globais.



PRÓLOGO

O desafio que a emergência climática impõe aos governos do mundo inteiro requer a aplicação de todos os esforços disponíveis para mitigar as contribuições humanas na dinâmica do clima global e promover a adaptação dos territórios aos cenários futuros que estão previstos. O caso do Rio Grande do Sul constitui um exemplo concreto do desafio que se impõe ao planejamento e execução, de maneira concomitante, das ações para o enfrentamento dos impactos adversos dos eventos climáticos extremos. Por estar situado em uma das regiões mais sensíveis do Planeta, o estado tem a necessidade de agir na prática para promover a adaptação climática, olhando para o futuro com planos de ações estruturantes e estruturadas.

Ao entregar para a sociedade gaúcha a Conformidade Climática do RS e todos os estudos que a compõem, o Governo do Estado disponibiliza uma ferramenta estratégica e norteadora das ações no território para os próximos vinte e cinco anos. A Conformidade Climática organiza e sistematiza iniciativas e objetivos com metas concretas e factíveis, desenvolvidas com base em

ciência, que indicam o caminho para alcançar a mitigação das emissões de Gases de Efeito Estufa, a adaptação e a resiliência climática. Constitui um instrumento que orienta a maneira como o Estado deve agir para contribuir com as metas globais e reforça o compromisso comum de todas as partes, promovendo um ambiente mais equilibrado, sustentável e adaptado às necessidades das futuras gerações e do meio em que vivemos.

Com a entrega da Conformidade Climática, o Rio Grande do Sul dispõe de mais um Plano de Estado que dialoga com as ações estruturantes desenvolvidas ao longo dos últimos anos, tendo como objetivos principais a promoção do desenvolvimento socioeconômico em consonância com a necessidade imposta pelas mudanças climáticas e os efeitos adversos deste processo no território. É ao mesmo tempo o encerramento e a abertura de um ciclo que se renova com os desafios que se impõem e a necessidade permanente que a humanidade enfrenta de repensar suas ações olhando para um futuro mais sustentável e resiliente.



Marjorie Kauffmann
Secretária – Conformidade Climática RS
Governo do Estado do Rio Grande do Sul

PREFÁCIO

Apresentamos o Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (IEGEE) do Rio Grande do Sul, um instrumento técnico essencial para quantificar e analisar os fluxos de emissões e remoções de gases de efeito estufa ocorridos no estado do Rio Grande do Sul entre os anos de 2018 e 2023. Este documento aprofunda a compreensão do perfil estadual de emissões, oferecendo uma base compreensiva de informações para subsidiar a formulação de políticas públicas mais eficazes e estratégias de enfrentamento da mudança climática.

O IEGEE representa um marco para o Rio Grande do Sul ao consolidar seu compromisso com a

agenda climática global e com o desenvolvimento sustentável. Ao sistematizar dados e evidências sobre as principais fontes emissoras e sumidouros de carbono, o inventário fortalece a governança climática estadual e orienta a tomada de decisão baseada em evidências.

Alinhado aos princípios e diretrizes do ICLEI, este inventário se configura como um instrumento fundamental para apoiar o planejamento climático, monitorar avanços e guiar o estado na transição para uma economia de carbono neutro, contribuindo para um futuro mais resiliente, justo e sustentável.



Rodrigo Perpétuo
Secretário Executivo
ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade

AÇÃO CLIMÁTICA NO RIO GRANDE DO SUL



Foto: Igor Almeida - ASCOM/SEMA

O Rio Grande do Sul se posiciona como um Estado dinâmico, engajado no desenvolvimento sustentável e no enfrentamento das complexas questões da mudança climática. Este compromisso é evidenciado com a elaboração da Conformidade Climática Estadual, que busca subsidiar a transição rumo a uma economia de carbono zero, promovendo um futuro mais resiliente, equitativo e centrado nas pessoas e nos territórios. O Estado associou-se ao ICLEI em setembro de 2022 como parte dos esforços para conhecer, mitigar e adaptar o território aos impactos da crise climática, buscando integrar as melhores práticas globais às suas políticas locais e participar ativamente da governança climática global (ICLEI, 2025).

Localizado na região Sul do Brasil, o Rio Grande do Sul destaca-se por sua economia diversificada e robusta, com forte presença do agronegócio, da indústria e do setor de serviços (SEBRAE, 2022). No entanto, essa dinâmica econômica está cada vez mais entrelaçada com a crescente vulnerabilidade de seu território aos impactos da mudança climática. Nos últimos anos, o Estado tem enfrentado uma intensificação dos desafios climáticos, com sucessivos eventos extremos que resultaram na declaração de várias situações de emergência e calamidade pública (S2ID, 2025). A severidade e a recorrência desses episódios reforçam a urgência de ações estratégicas e efetivas para compreender e mitigar as emissões de Gases de Efeito Estufa

(GEE), promovendo a resiliência climática e a sustentabilidade do território gaúcho.

Reconhecendo a complexidade dos desafios climáticos, o Rio Grande do Sul tem intensificado os esforços de suas esferas governamentais, compreendendo que a adoção de políticas de mitigação e adaptação, focadas em contextos locais e regionais, é essencial para desenvolver soluções climáticas alinhadas às especificidades de cada área do Estado. A liderança do Estado é evidenciada pela atuação da Secretária de Meio Ambiente e Infraestrutura, Marjorie Kauffmann, que ocupa a posição de Vice-presidente do Comitê Executivo Global do ICLEI, representando o Brasil e a América do Sul. Essa posição de destaque na governança climática global reforça o compromisso do Rio Grande do Sul em não apenas adotar políticas exemplares, mas também em influenciar e liderar a agenda climática em diversas escalas, consolidando sua relevância no enfrentamento dos desafios globais.

É importante destacar que o Estado já desenvolve uma série de programas e ações estratégicas que desempenham um papel significativo no enfrentamento das emissões de gases de efeito estufa. Exemplos notáveis incluem o Plano Estadual para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária - ABC no Estado do Rio Grande do Sul (ABC+RS), Programa Estadual de Recuperação da Vegetação Nativa do Estado do Rio Grande do Sul (PROVEG-RS), Programa de Irrigação - 120 mil/hect, Campos do Sul, Programa de Pagamento por Serviços Ambientais, Programa de Revitalização de bacias, medidas para aproveitamento de Biogás/Biometano, Ampliação da Matriz Elétrica Renovável, desenvolvimento de estudos e tecnologias para aplicação de Hidrogênio Verde, entre outros. Essas iniciativas demonstram o compromisso do Estado em alinhar seus esforços com as agendas nacional e regional, promovendo

a integração e a eficácia das respostas à mudança climática, além de impulsionar a transição para um modelo de desenvolvimento mais sustentável e resiliente.

Além disso, entre os compromissos globais firmados destacam-se a adesão e o engajamento ativo em importantes alianças e campanhas internacionais. O Rio Grande do Sul é signatário e participante da ACA Brasil, do Consórcio Brasil Verde, das campanhas Race to Zero e Race to Resilience, e da coalizão Under2 Coalition. Essas plataformas internacionais orientam e elevam a ambição climática do Estado, traduzindo-se em ações concretas no território.



Foto: Governo do Estado do Rio Grande do Sul

SOBRE O IEGEE DO RIO GRANDE DO SUL

O Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (IEGEE) do Rio Grande do Sul tem como objetivo principal quantificar e analisar os fluxos de gases de efeito estufa (GEE) ocorridos entre os anos de 2018 e 2023. Este relatório visa aprofundar a compreensão do perfil de emissões e remoções do Estado, servindo como ferramenta para subsidiar a formulação de políticas públicas mais assertivas e o desenvolvimento de estratégias eficazes para o enfrentamento da mudança climática.

A elaboração deste inventário seguiu as diretrizes metodológicas do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC) e do Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas do Brasil. A análise abrange os principais setores emissores e sumidouros de GEE: Agropecuária; Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF); Energia; Resíduos; e Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU). Esta abordagem foi utilizada para garantir a transparência e a comparabilidade dos dados, além de gerar um panorama completo das atividades que influenciam a pegada de carbono do Rio Grande do Sul.

Os resultados revelam uma dinâmica de redução total de 13% nas emissões brutas e 15% nas emissões líquidas no período analisado, destacando a Agropecuária e o setor de Energia como os maiores contribuintes para as emissões. Já para as remoções, notavelmente, o setor LULUCF demonstra um papel crescente como sumidouro de carbono, com importantes remoções que contribuem para o balanço líquido do Estado, especialmente nos últimos anos. Essas informações permitem identificar as áreas prioritárias de intervenção e direcionar os esforços de mitigação e adaptação.

Este IEGEE representa um marco para o Rio Grande do Sul, consolidando seu compromisso com a agenda climática global e o desenvolvimento sustentável. Ele é um instrumento vital para guiar o Estado na transição para uma economia de carbono zero, em consonância com os princípios que balizam os caminhos do ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade.



Foto: Governo do Estado do Rio Grande do Sul

Capítulo 01

INTRODUÇÃO

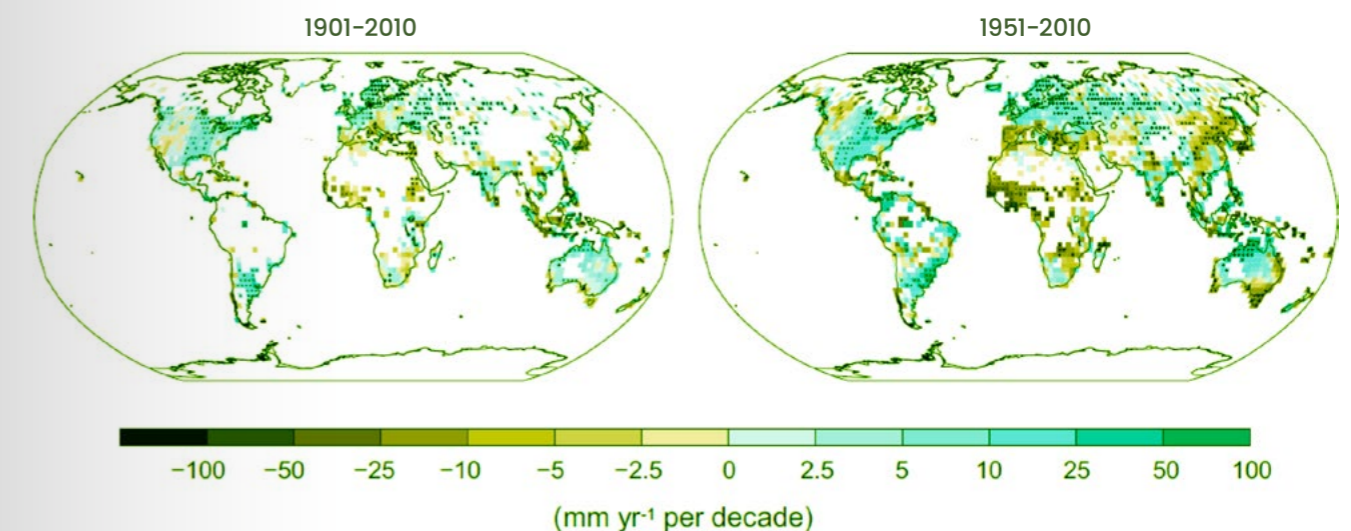
1.1. MUDANÇA CLIMÁTICA

A mudança climática, como definido pelo IPCC (2019), refere-se a alterações notáveis no estado climático que podem ser observadas por meio de mudanças em sua média e variabilidade, persistindo ao longo de décadas ou mais. A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática atribui essas alterações diretamente às atividades humanas que modificam a composição atmosférica global e somam-se à variabilidade climática natural observada em tempos comparáveis (UNFCCC, 2009).

Atualmente, mais de 97% das pesquisas científicas afirmam que essa mudança climática ocorre principalmente devido à ação humana (ICLEI; Programa Cidades Sustentáveis, 2016). Entre as

principais alterações, destacam-se o aumento das temperaturas médias, o recuo das geleiras e do gelo no Ártico, bem como mudanças nos padrões de precipitação, na salinidade dos oceanos e regimes de ventos, ademais do aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, como secas prolongadas e ciclones (IPCC, 2021). A Figura 1 apresenta a variação da precipitação observada de 1901 a 2010 e de 1951 a 2010, demonstrando que nas últimas décadas houve um aumento considerável da precipitação em algumas regiões, enquanto, em outras, observou-se uma redução significativa no regime de chuvas.

Figura 1: Mapas de mudança de precipitação observada de 1901 a 2010 e de 1951 a 2010



Fonte: IPCC, 2013.

O Rio Grande do Sul, em particular, tem vivenciado de forma aguda os efeitos da mudança climática. Em maio de 2024, os eventos de precipitação extrema ocorridos nesse período resultaram no maior desastre natural registrado no Estado, tendo atingido mais de 95% dos municípios (478 dos 497), e deixou 183 mortos e quase um milhão de pessoas diretamente atingidas (Brasil, 2025; DEE-SPGG, 2025).

O Estado do RS registrou, em 2024, uma série de eventos climáticos extremos, com destaque para as chuvas intensas, que representaram 71% dos casos reportados (527 ocorrências). Em seguida, figuram vendavais e ciclones (13%), enxurradas (4%), granizo (4%) e inundações (3%). Também foram identificados episódios de alagamentos (2%), estiagem e seca (1%), movimentos de massa (1%), rompimentos de barragens (1%) e tornados (0,5%), além de outros eventos diversos (1%) (Brasil, 2025). Esse cenário evidencia a crescente frequência e intensidade de desastres naturais e reforça a urgência de compreender e mitigar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), fundamentais para promover a resiliência e a sustentabilidade do território.

1.1.1 O Fenômeno do Efeito Estufa

O efeito estufa é um fenômeno natural e benéfico para o planeta, responsável por manter a temperatura média da Terra em cerca de 15°C, o que possibilita a vida conforme conhecemos. Sem o efeito estufa natural, a temperatura média na superfície da Terra estaria abaixo de 0°C. O Sol emite radiação em comprimentos de onda curtos, especialmente

na porção visível. Aproximadamente 30% dessa radiação é refletida de volta ao espaço, enquanto 70% penetram a atmosfera e aquecem a superfície. Essa energia é então reemitida como radiação infravermelha de ondas mais longas, das quais cerca de 90% são capturadas por gases de efeito estufa (GEE), como CO₂, CH₄ e N₂O, que a emitem de volta à Terra, intensificando o aquecimento da superfície (IPCC, 2007; DENCHAK, 2019).

Contudo, a intensificação do efeito estufa causada pelas atividades humanas tem levado ao fenômeno do aquecimento global. Esse aumento decorre da elevação contínua das concentrações atmosféricas de GEE, principalmente em função da queima de combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo e gás natural), da agropecuária, das atividades industriais e do desmatamento. No Brasil, por exemplo, o desmatamento é a principal fonte de emissões, dado que as florestas atuam como sumidouros de carbono, mas, ao serem suprimidas ou queimadas, liberam grandes volumes de CO na atmosfera (WWF, s.d.).

1.2. GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) E SUAS FONTES

Os GEE são gases que absorvem e emitem radiação dentro de comprimentos específicos na faixa da radiação terrestre, provenientes de fontes naturais e humanas (IPCC, 2013b). O CO₂ é o maior contribuinte, com 76% das emissões a partir de

Quadro 1: Fontes de emissão dos diferentes GEE emitidos em atividades antrópicas

Gás	Emissão	Fontes de Emissão
CO ₂	76%	Combustão de fósseis, desmatamento, agricultura; pode ser removido por reflorestamento.
CH ₄	16%	Agropecuária, manejo de resíduos, energia, queima de biomassa.
N ₂ O	6%	Uso de fertilizantes agrícolas, combustíveis fósseis
Gases fluorados	2%	Processos industriais, refrigeração, uso de produtos incluindo HFCs e PFCs e SF6.

Fonte: EPA, 2020; IPCC, 2013b.

combustíveis fósseis, desmatamento e uso do solo. O Quadro 1 detalha essas fontes:

As fontes de emissão de GEE também podem ser identificadas em atividades dos diferentes setores econômicos, como pode ser observado no Quadro 2. A produção de eletricidade e calor é o setor que mais contribui para essas emissões, com 25% do total emitido globalmente em 2010, seguido por Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra (24%), Indústria (21%) e Transporte (14%) (EPA, 2020).

1.3. IMPACTOS DA MUDANÇA CLIMÁTICA

A mudança climática configura-se como uma das ameaças mais significativas à sociedade humana e ecossistemas, gerando impactos em diversas esferas ambientais, econômicas e de saúde pública (IPCC, 2014; MMA, 2016). Segundo o sexto relatório do Painel

Intergovernamental sobre Mudança de Clima (IPCC, 2023) as atividades humanas envolvendo a emissão de gases de efeito estufa (GEE) já aumentaram a temperatura média da Terra em 1,1°C entre 2011 e 2020, causando elevações do nível do mar, maior ocorrência de eventos climáticos extremos, como inundações, secas e tempestades, disseminação de doenças tropicais e perda de biodiversidade.

O Acordo de Paris, estabelecido durante a COP21 em dezembro de 2015, representa um marco na governança climática internacional. Como primeiro acordo universal juridicamente vinculante sobre mudança climática, estabelece um novo modelo de cooperação entre as nações. Seu objetivo fundamental é controlar o aquecimento global, mantendo o aumento da temperatura média do planeta significativamente abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais, preferencialmente limitando-o a 1,5°C.

Quadro 2: Fontes de emissão de GEE por setor econômico

Fontes de Emissão de GEE	Fontes de Emissão de GEE
Produção de eletricidade e calor	Combustão de carvão, gás natural e óleo para eletricidade e aquecimento.
Indústria	Combustíveis fósseis, processos não energéticos químicos e minerais. <i>Nota: Não contempla o uso de eletricidade (incluídas no Setor de Eletricidade e Calor).</i>
Agricultura, florestas e outros usos da terra (AFOLU)	Agricultura e desmatamento. <i>Nota: Não contempla a recuperação de carbono através da biomassa</i>
Transporte	Queima de combustíveis fósseis para transporte rodoviário, ferroviário, aéreo e marítimo. <i>Nota: 95% da energia de transporte vem de combustíveis derivados do petróleo, principalmente gasolina e diesel.</i>
Edificações	Geração de energia no local e combustíveis para aquecimento em edifícios ou cocção. <i>Nota: Não contempla a eletricidade consumida em edifícios (acessada no Setor de Energia).</i>
Energia (outros)	Emissões não diretamente associadas à produção elétrica ou térmica, como extração, refino, processamento ou transporte de combustíveis.

Fonte: EPA, 2020.

Este acordo inova ao adotar uma metodologia “bottom-up”, onde cada nação determina suas próprias metas de redução de emissões através das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs), em contraste com abordagens anteriores que impunham metas padronizadas. Essa flexibilidade permite que países em diferentes estágios de desenvolvimento possam contribuir de maneira mais realista e efetiva para o esforço global.

O Brasil estabeleceu metas ambiciosas e mensuráveis para 2035, demonstrando seu compromisso com a agenda climática internacional. As metas principais incluem uma redução significativa nas emissões de GEE de 59 a 67% abaixo dos níveis registrados no ano base de 2005 (MMA, 2024).

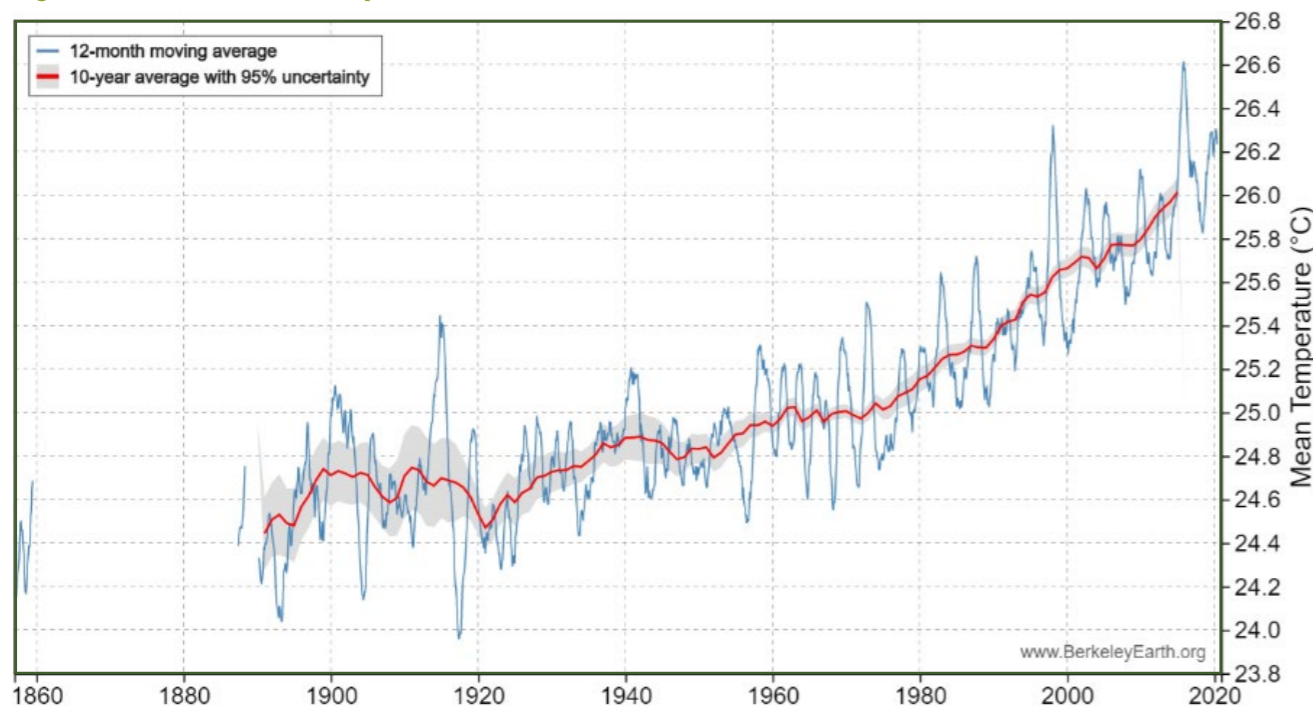
Estes compromissos são particularmente relevantes considerando o papel estratégico do Brasil na preservação de florestas tropicais, na produção de energia renovável e no desenvolvimento de práticas agrícolas sustentáveis. Para alcançar estas metas, o país necessita implementar uma série de políticas públicas integradas, envolvendo diversos setores da economia e diferentes esferas governamentais, além de contar com o engajamento do setor privado e da sociedade civil.

Observa-se que os sistemas naturais, em todas as regiões do planeta e nos oceanos, estão sendo

impactados, sobretudo em decorrência do aumento das temperaturas médias globais (IPCC, 2021). Os últimos dez anos atingiram uma sequência extraordinária de temperaturas recordes, sendo 2024 o ano mais quente registrado (WMO, 2025). No Brasil, destaca-se que o aumento nas temperaturas resulta em mudança climática significativa, afetando o ciclo hidrológico e a incidência de fenômenos extremos, conforme apresentado na Figura 2. Com isso, tornam-se cada vez mais necessárias medidas para a redução das emissões de gases de efeito estufa, bem como para adaptação climática.

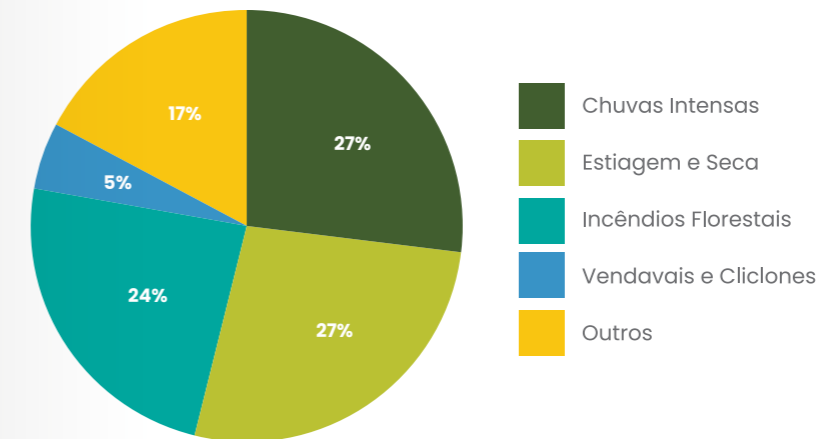
Com o intuito de quantificar a ocorrência de eventos climáticos no Brasil, levantamentos têm sido realizados ao longo dos anos. De acordo com o Atlas Digital de Desastres no Brasil, em 2024, os municípios do país foram impactados por uma variedade de fenômenos, muitos dos quais podem ter sido intensificados pela mudança climática. Os dados apontam que as chuvas intensas foram responsáveis por 1.265 ocorrências (27%), enquanto as estiagens e secas totalizaram 1.279 (27%). Ademais, foram contabilizados 1.105 incêndios florestais (24%), 254 vendavais e ciclones (5%), e outros eventos climáticos diversos, que somaram 17% do total, conforme apresentado na Figura 3 (Brasil, 2025).

Figura 2: Aumento da temperatura média no Brasil de 1850 a 2020



Fonte: Berkeley Earth, s.d.

Figura 3: Percentual de ocorrências de eventos extremos em 2024



Fonte: ICLEI adaptado de Brasil, 2025.

Nesse contexto, além dos impactos à sociedade, impactos significativos também incluem a perda da flora e da fauna, incluindo ameaça às vegetações nativas. Observa-se que a perda de espécies endêmicas em biomas brasileiros ocorre, principalmente, por meio da degradação de áreas naturais, o que traz como consequência o aumento da vulnerabilidade nessas regiões, se tornando ainda mais suscetíveis aos impactos da mudança climática (IPCC, 2014). Em complemento a isso, alterações na temperatura e no ciclo hidrológico podem alterar o equilíbrio de espécies e populações, impactando as taxas reprodutivas e o desenvolvimento de espécies (MMA, 2016).

Dada a complexidade dos desafios climáticos, a participação ativa dos governos municipais e estaduais é vital. A adoção de políticas de mitigação e adaptação em âmbitos local e regional permite que soluções climáticas sejam contextualizadas de acordo com a realidade de cada região. As cidades estão na linha de frente dos impactos da mudança climática, enfrentando eventos extremos como enchentes, ondas de calor e secas. Por isso, torná-las mais resilientes contribui significativamente para a saúde e bem-estar de suas populações.

Além disso, iniciativas regionais podem atuar como laboratórios de inovação, testando soluções climáticas que podem ser escaladas para níveis mais amplos. Os municípios e estados são também fundamentais na implementação de políticas como a preservação de áreas verdes, promoção de mobilidade sustentável e eficiência energética,

além de serem elo crucial para impulsionar a conscientização e o engajamento comunitário na agenda climática. Portanto, a articulação entre as diferentes esferas de governo é essencial para que o Brasil alcance suas metas estabelecidas no cenário internacional e para o fortalecimento da resiliência climática nacional.

Para apoiar os governos no enfrentamento desses desafios, o ICLEI oferece, por meio da iniciativa Conformidade Climática, um conjunto de estudos e propostas consolidado no Plano de Ação Climática, que serve para orientar localidades para o desenvolvimento sustentável. Nesse plano, prioriza-se a mitigação das emissões de gases de efeito estufa, a adaptação à mudança climática e o fortalecimento da resiliência do território e da população.

Além do Inventário de Gases de Efeito Estufa (apresentado neste relatório), a mitigação também conta com a Análise das Emissões das Cadeias Produtivas do Rio Grande do Sul para subsidiar ações estratégicas. No que diz respeito à adaptação e à resiliência, as propostas serão fundamentadas no estudo da Análise de Risco e Vulnerabilidade Climática (ARVC). Complementando estas ações, destacam-se também as propostas voltadas para a implementação de uma estrutura de Governança Climática e, ao final, a consolidação da Normativa Climática.

O Quadro 3 a seguir apresenta uma breve descrição das etapas da Conformidade Climática para o Estado do Rio Grande do Sul.

Quadro 3: **Etapas da Conformidade Climática**

Etapa	Descrição
Governança Climática	Propõe uma estrutura de governança multissetorial e multinível para o planejamento e a gestão climática;
Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa	Identifica o atual cenário de emissões de gases de efeito estufa e orienta as ações de mitigação;
Roteiros para descarbonização das Cadeias Produtivas	Identifica os cenários de emissões de gases de efeito estufa e orienta as ações de descarbonização para cinco cadeias produtivas selecionadas pelo Estado;
Análise de Risco e Vulnerabilidade Climática	Localiza no território a suscetibilidade aos principais riscos climáticos e analisa a tendência de agravamento desses riscos, orientando as ações de adaptação;
Plano de Ação Climática	Estabelece objetivos, metas e ações para a mitigação de gases de efeito estufa e para a adaptação e aumento da resiliência aos impactos da mudança climática;
Normativa Climática	Propõe a revisão da política sobre mudança climática em alinhamento com o Plano de Ação Climática, a fim de assegurar a implementação e o monitoramento das ações.

Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

1.4. ESTRUTURA DO RELATÓRIO

O Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa fornece ferramentas e uma base inicial para o Rio Grande do Sul estruturar um planejamento focado em ações contra a mudança climática.

Seu principal objetivo é compreender o perfil de emissões do Estado, permitindo a adoção de medidas de mitigação mais assertivas e fundamentadas em evidências. Este relatório integra o desenvolvimento de diagnósticos ambientais, com informações e análises territorializadas da Conformidade Climática do Estado, que servirão de base para a elaboração de um Plano de Ação adaptado às necessidades locais de enfrentamento à mudança climática.

O atual estudo é responsável por apresentar os resultados de emissões de GEE dos anos de 2018 a 2023 para o Estado do Rio Grande do Sul, de acordo com a seguinte estrutura:

- **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO:** apresenta o conceito de mudança climática e destaca a relevância da ação climática. Explica o que é um inventário e descreve a organização deste relatório técnico.

- **CAPÍTULO 2 – METODOLOGIA:** detalha a metodologia utilizada para estimar as emissões antrópicas do Estado, seguindo o modelo do Inventário Nacional. Define a abrangência e os limites do IEGEE, os setores analisados, além dos métodos de cálculo e obtenção dos resultados.
- **CAPÍTULO 3 – CARACTERIZAÇÃO DO RIO GRANDE DO SUL:** fornece uma visão geral do Estado com foco nos setores analisados.
- **CAPÍTULO 4 – RESULTADOS DO INVENTÁRIO:** apresenta os dados e a análise para cada setor inventariado.
- **CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS:** sintetiza os resultados e discute possíveis ações a serem desenvolvidas com foco na mitigação.
- **REFERÊNCIAS:** lista todas as fontes consultadas para a elaboração do relatório, incluindo links de acesso, quando disponíveis.
- **ANEXOS:** detalham as fontes de dados, os fatores de emissão utilizados e as equações aplicadas para cada setor do inventário

Capítulo 02

METODOLOGIA

Esta seção detalha o caminho percorrido, desde a estruturação da governança até os métodos de cálculo, garantindo que os dados apresentados reflitam a realidade estadual e sirvam como base sólida para a tomada de decisões. Para tanto, o inventário foi desenvolvido de acordo com as seguintes cinco fases (Figura 4):

Figura 4: **Etapas da Metodologia**



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

2.1. GOVERNANÇA

Para o desenvolvimento do Inventário, foi realizada uma série de atividades participativas envolvendo as instâncias de Governança Climática estabelecidas

no início do processo de Conformidade Climática do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 5).

Figura 5: Governança Climática do Rio Grande do Sul



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

O sistema de governança é composto pelos seguintes grupos:

Quadro 4: Sistema de Governança Climática do Rio Grande do Sul

Grupos de Governança	Atores
Grupo de Coordenação (GC)	Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA); apoio técnico do ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade
Grupo Executivo (GEx)	Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA); Secretaria da Fazenda (SEFAZ); Secretaria da Reconstrução Gaúcha (SRG); Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SEDEC); Secretaria de Desenvolvimento Rural (SDR); Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Metropolitano (SEDUR); Secretaria de Inovação, Ciência e Tecnologia (SICT); Secretaria de Obras Públicas (SOP); Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão (SPGG)/Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais (IEDE); Secretaria de Turismo (SETUR); Secretaria da Saúde (SES); Casa Militar / Defesa Civil; Secretaria de Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação (SEAPI)
Grupo de Diálogo Ampliado (GDA)	Fórum Gaúcho de Mudanças Climáticas (FGMC), composto por 36 entidades, conforme Portaria SEMA Nº 91/2025, e demais participantes da sociedade civil, setor produtivo, de entidades de classe e de instituições de ensino superior do Estado.
Comitê Científico de Adaptação e Resiliência Climática (CCARC)	Representantes de 28 órgãos e entidades científicas, técnicas e acadêmicas (conforme Decreto Nº 57.647, de 03 de junho de 2024)

Grupos de Governança	Atores
Comitê Técnico Nacional	Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima; Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação; Ministério da Saúde; Ministério das Cidades; Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil; CEMADEN; INMET; INPE; EMBRAPA; Geo Karten (MapBiomass); Centro Brasil no Clima; Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa)
Comitê Técnico Internacional	Escritório das Nações Unidas para Redução do Risco de Desastres (UNDRR); ONU-Habitat; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA); Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD); Resilient Cities Network

Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

2.2. LIMITES DO INVENTÁRIO E CARACTERIZAÇÃO DO TERRITÓRIO

Contexto Geográfico e Temporal do Inventário

Este estudo abrange o território do Estado do Rio Grande do Sul e suas atividades antrópicas, com dados levantados para o período contínuo de 2018 a 2023.

Diretrizes Metodológicas e Delimitação do Escopo

A metodologia utilizada para calcular as emissões do Estado segue as Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa desenvolvidas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC), com destaque para a versão de 2006 e suas melhorias incluídas em 2019. O IPCC, como parte da Organização das Nações Unidas (ONU), fornece as bases científicas e metodológicas para a formulação e revisão de inventários de GEE, por meio de seus grupos de trabalho que abordam temas como fundamentos físicos, impactos, adaptação, mitigação e o desenvolvimento de metodologias de cálculo.

Este inventário também está alinhado com o Inventário Nacional de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa do Brasil, coordenado pelo MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2020a). Esse relatório utiliza fatores de emissão

padronizados em nível nacional e, sempre que possível, estadual, para garantir consistência, maior acurácia e comparabilidade dos dados.

As estimativas de emissão e remoção de GEE são agrupadas em setores principais, contendo subsetores/categorias e subcategorias individuais. Na metodologia do IPCC e no Inventário Nacional, as emissões são organizadas em diferentes níveis de detalhamento. Os setores representam os grandes blocos temáticos. Dentro deles, os subsetores especificam grupos de atividades, como combustão móvel no setor de Energia ou fermentação entérica na Agropecuária. As categorias correspondem às atividades que efetivamente geram emissões, como transporte rodoviário ou disposição de resíduos em aterros. Por fim, as subcategorias detalham ainda mais essas fontes, por exemplo, automóveis a gasolina dentro de transporte rodoviário, ou bovinos de corte e de leite na fermentação entérica.

Essa estrutura hierárquica garante comparabilidade internacional e permite maior precisão nos cálculos de emissões. O Quadro 5 sintetiza a hierarquia e definição dos níveis considerados no inventário, que também estão descritos no Anexo I.

Quadro 5: Hierarquia de níveis para inventário de emissões de gases de efeito estufa

Nível	Descrição	Exemplo (Setor Energia)
Setor	Grande agrupamento temático	Energia
Subsetor	Divisão dentro do setor	Transportes
Categoria	Atividade específica que gera emissões	Transporte rodoviário
Subcategoria	Detalhamento máximo da atividade ou produto	Automóveis a gasolina, ônibus a diesel, motocicletas a etanol

Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Deste modo, o inventário do RS considera os seguintes setores de emissão de GEE:

- **USO DA TERRA, MUDANÇA DO USO DA TERRA E FLORESTAS (LULUCF):** Trata das emissões e remoções por mudança do uso da terra, remoções em áreas protegidas, remoções por vegetação secundária e remoções de produtos florestais madeireiros.
- **AGROPECUÁRIA:** Contempla fluxos de GEE decorrentes do uso e manejo de solos, fermentação entérica, cultivo de arroz, manejo de dejetos animais, queima de resíduos agrícolas, aplicação de ureia e calagem.
- **ENERGIA:** Inclui emissões antrópicas provenientes da produção, transformação, distribuição e consumo de diferentes formas de energia estacionária e por transportes, bem como emissões fugitivas (vazamentos intencionais ou acidentais de GEE).
- **RESÍDUOS:** Abrange emissões relacionadas ao tratamento de resíduos sólidos e efluentes líquidos, oriundas da degradação de matéria orgânica.
- **PROCESSOS INDUSTRIAIS E USO DE PRODUTOS (IPPU):** Estima as emissões geradas por processos industriais (transformação química ou física de materiais), uso de GEE em produtos e usos não energéticos de combustíveis fósseis.

Os Gases de Efeito Estufa (GEE) considerados são: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido

nitroso (N₂O), e os gases fluorados (F-gases), que incluem o trifluoreto de nitrogênio (NF₃), hexafluoreto de enxofre (SF₆), hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorocarbonos (PFCs). Cada GEE possui um Potencial de Aquecimento Global (GWP) associado, que indica sua contribuição para o aquecimento global em relação ao CO₂. Para este inventário, foram utilizados os GWPs do Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do IPCC, conforme apresentado na Tabela 1.

Os gases listados correspondem aos mais estudados e reconhecidos como de maior relevância para os inventários de emissões, estando diretamente associados às principais atividades antrópicas presentes no Estado. Ressalta-se que outros gases de efeito estufa existem, porém não foram incluídos nesta análise por não apresentarem ocorrência significativa nas atividades levantadas no território gaúcho (IPCC, 2024).

O Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Rio Grande do Sul considerou as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O, de acordo com as fontes de emissão mapeadas e a disponibilidade de dados. Adicionalmente, o inventário apresenta estimativas de remoções de CO₂e.

A elaboração do inventário de emissões depende diretamente da disponibilidade, qualidade e nível de detalhamento dos dados utilizados, sejam eles primários (coletados junto a instituições locais) ou secundários (bases nacionais e estimativas). Em muitos casos, foi necessário recorrer a fontes alternativas – como dados públicos (ANP, IBGE, EPE-BEN, SEEG), estudos acadêmicos ou métodos de interpolação e extrapolação – para suprir lacunas de informação.

Tabela 1: Potencial de Aquecimento Global (GWP, sigla em inglês) 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
Trifluoreto de Nitrogênio (NF ₃) ¹	16.100
Hexafluoreto de Enxofre (SF ₆)	23.500
Hidrofluorcarbono (HFCs)	116 - 12.400
Perfluorcarbono (PFCs)	6.300 - 17.400

1 - Apesar do NF₃ estar listado entre os gases de referência, não foi considerado neste inventário por não apresentar fontes significativas de emissão nas atividades antrópicas identificadas no Estado do Rio Grande do Sul.

Fonte: ICLEI - IPCC, 2013a.

Essa prática, embora essencial para assegurar a completude do inventário, pode gerar divergências e incertezas entre diferentes bases. Tais variações são tratadas por meio da adoção de fatores de emissão padrão do IPCC e do Inventário Nacional, e devidamente justificadas no relatório. É importante ressaltar que não há controle direto sobre a periodicidade ou forma de disponibilização dos dados por parte das instituições responsáveis, o que pode ocasionar atrasos e necessidade de ajustes nos fluxos de comunicação.

Assim, os resultados devem ser interpretados à luz dessas limitações, reconhecendo-se o caráter dinâmico do inventário, que deve ser continuamente aprimorado à medida que novas fontes e informações mais robustas se tornem acessíveis.

2.3. COLETA E VALIDAÇÃO DE DADOS

A qualidade do inventário é diretamente impactada pela acurácia e completude dos dados de atividade. O processo de coleta de dados para este inventário foi iniciado com um levantamento preliminar das atividades fontes de emissão no Estado, utilizando plataformas de dados abertos como o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de

Efeito Estufa (SEEG) e o Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE).

Uma abordagem colaborativa foi adotada, envolvendo ativamente as instâncias de Governança Climática definidas para a Conformidade Climática do Rio Grande do Sul. Isso incluiu a participação do Grupo de Coordenação (GC), Grupo Executivo (GEx), Grupo de Diálogo Ampliado (GDA) e Comitês Técnicos (nacionais e internacionais). Atividades de capacitação foram realizadas com o GEx para orientar o levantamento de dados locais.

A coleta de dados, coordenada pela Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA) e com o apoio do ICLEI, foi desenvolvida em constante interlocução com o processo de análise do relatório de Cadeias Produtivas (ECOFINANCE; ICLEI, 2025), mobilizando diversas entidades locais e nacionais, como AGEFLOR, EMBRAPA, EMATER, FARSUL, FIERGS, FUNDESA, REFAP, SINDILAT, FEPAM, IRGA, SEAPI, SEFAZ e SDR. Para as informações não disponíveis publicamente, foram encaminhadas solicitações às instituições detentoras dos dados e, na falta de dados primários, foram utilizados dados secundários (ver Anexo I).

As tabelas detalhadas com as informações obtidas e suas respectivas fontes para os setores de Agropecuária, LULUCF, Energia, Resíduos e IPPU estão apresentadas no Anexo I - Fontes de Dados.

2.4. MÉTODOS DE CÁLCULO DAS EMISSÕES E REMOÇÕES

O inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Rio Grande do Sul 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. Foram utilizados os fatores de emissão adotados pelo Inventário Nacional, por meio do Relatórios de Referência Setorial (MCTI, 2020b; 2020c, 2021a, 2021b, 2021c, 2022), e trazendo, sempre que possível, a melhor representação da realidade local.

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

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

Em que:

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

g: Índice que denota o tipo de GEE.

y: Ano de referência do relatório.

$E_{i,g,y}$: Emissões ou remoções de GEE_g atribuíveis à fonte ou sumidouro **i** durante o ano **y**, em tCO_2e .

$DA_{i,y}$: Dado de atividade consolidado referente à fonte ou sumidouro **i** durante o ano **y**.

$FE_{i,g,y}$: Fator de emissão ou remoção de GEE_g atribuíveis à fonte ou sumidouro **i** durante o ano **y**, em t GEE g/u.

GWP_g : Potencial de aquecimento global de GEE_g , em $tCO_2e/ t GEE_g$.

Os fatores de emissão utilizados para cada tipo de GEE e atividade estão detalhados no Anexo II - Fatores de Emissão. As equações completas e específicas para o cálculo das emissões e remoções em cada setor do inventário (Agropecuária, LULUCF, Energia, Resíduos e IPPU) podem ser consultadas no Anexo III - Equações.

2.5. ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO E LANÇAMENTO

A partir da coleta de dados foi possível calcular as emissões por setor, segundo diretrizes do IPCC, o que permitiu uma análise detalhada das principais fontes emissoras no Estado entre os anos de 2018 e 2023.

Além da análise interna, o documento traz uma comparação entre as emissões do Rio Grande do Sul e as de outros Estados brasileiros, considerando indicadores como emissões totais, emissões per capita (para o ano de 2022) e intensidade de emissões em relação ao PIB (para o ano de 2021). Essa abordagem comparativa ajuda a contextualizar o desempenho climático do Rio Grande do Sul no cenário nacional, evidenciando tanto seus desafios quanto suas oportunidades de mitigação.

A elaboração deste relatório marca um passo importante na consolidação da agenda climática do Rio Grande do Sul, ao disponibilizar informações qualificadas e transparentes que podem subsidiar políticas públicas e ações estratégicas de enfrentamento à mudança climática.

Capítulo 03

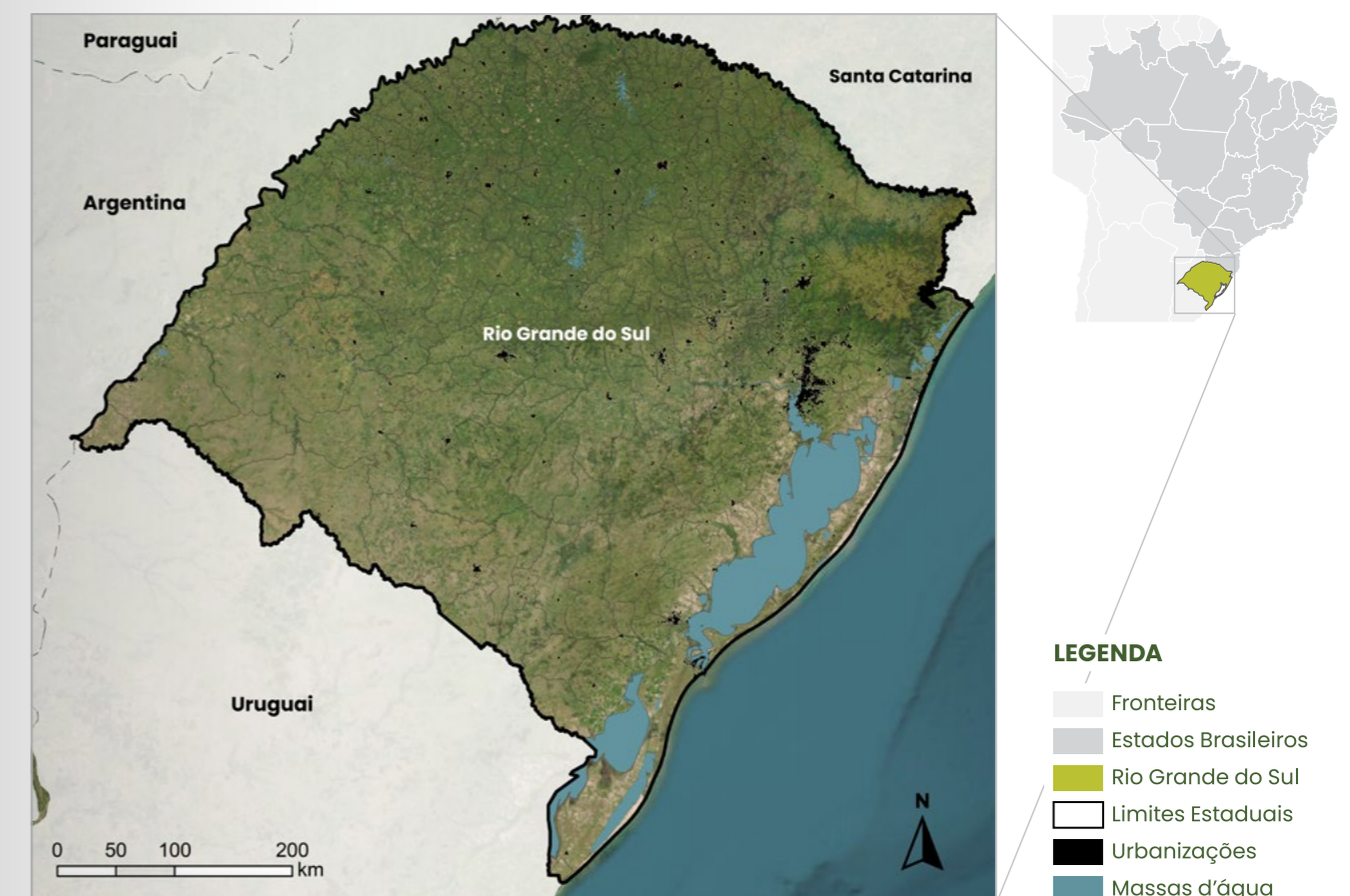
CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

A compreensão do perfil de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) do Rio Grande do Sul exige uma análise aprofundada de suas características geográficas, socioeconômicas e ambientais. Este capítulo oferece um panorama detalhado do Estado, destacando os elementos que moldam sua matriz de emissões e remoções, e influenciam sua vulnerabilidade e capacidade de resposta à mudança climática.

O Rio Grande do Sul está localizado na região sul do Brasil, fazendo divisa com o Estado de Santa

Catarina ao norte e fronteira internacional com o Uruguai ao sul e com a Argentina a oeste. Ao leste, é banhado pelo Oceano Atlântico. Com área territorial de 281.707,150 km² (IBGE, 2023b) e área urbanizada de 3.601 km² (IBGE, 2019), é formado por 497 municípios, sendo Porto Alegre a capital. A população estimada do Estado é de 10.882.965 habitantes e a densidade demográfica é de 38,63 hab./km² (IBGE, 2022). O mapa do Estado pode ser observado na Figura 6.

Figura 6: Mapa de localização do Estado do Rio Grande do Sul



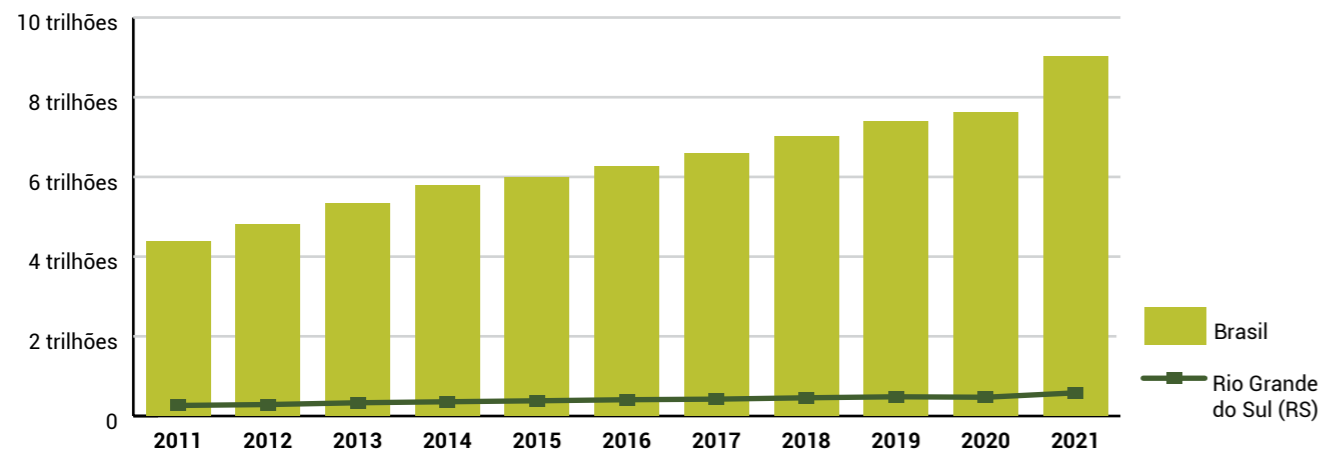
Fonte: IBGE, Google Earth, SIRGAS 2000, Transverse Mercator

A economia do Rio Grande do Sul é diversificada, abrangendo setores como agronegócio, indústria e serviços. O Estado é um dos principais produtores de soja, milho, arroz e trigo no Brasil, além de se destacar na produção de uva e vinhos na região da Serra Gaúcha. A indústria é robusta, com destaque para os setores automobilístico, metalúrgico e petroquímico, enquanto o setor de serviços, incluindo comércio, educação e saúde, também desempenha um papel importante no seu desenvolvimento econômico (SEBRAE, 2022).

Segundo o IBGE (2021), entre 2011 e 2021, o Produto Interno Bruto (PIB) do Rio Grande do Sul (RS) apresentou uma trajetória de crescimento consistente, ainda que com oscilações pontuais que

acompanharam as variações do cenário econômico nacional. Em 2011, o PIB do Estado representava 6,06% do PIB brasileiro. Ao longo da década, esse percentual oscilou entre 5,97% (2012) e 6,53% (2018 e 2019), demonstrando relativa estabilidade na participação do RS na economia nacional. Em 2020, observa-se uma queda na participação (6,19%), reflexo da desaceleração econômica provocada pela pandemia da Covid-19 e estiagem², mas que foi compensada em 2021 com um novo crescimento, atingindo 6,45%. Em termos absolutos, o PIB do Rio Grande do Sul passou de R\$ 457,29 bilhões em 2018 para R\$ 581,28 bilhões em 2021, o que representa uma variação positiva de 27,11% no período, conforme Figura 7 (IBGE, 2021).

Figura 7: Evolução do PIB do Brasil e do Rio Grande do Sul de 2011 a 2021



Fonte: ICLEI adaptado de IBGE, 2021.

O Rio Grande do Sul abriga os biomas da Mata Atlântica e Pampa, com diversas áreas protegidas, como o Parque Nacional de Aparados da Serra e o Parque Nacional da Lagoa do Peixe, que preserva ecossistemas únicos e espécies ameaçadas. Com paisagem variada, incluindo planaltos, coxilhas e planícies costeiras que caracterizam sua diversidade ecológica e geográfica, o território é coberto por três bacias hidrográficas, a do Rio Uruguai, ocupando 46,57% da área, a do Guaíba com 31,37% da área e Litorânea que ocupa os restantes 22,06% (Portal do Governo de Estado, 2025). O Estado ainda apresenta importantes reservas de água subterrânea, como o aquífero Guarani.

Com um clima subtropical úmido predominante, o Rio Grande do Sul já observa grandes impactos gerados pela crise climática, com dificuldades para prever chuvas e temperaturas com precisão, ocorrendo eventos de grande concentração de precipitação e também de grandes secas, o que interfere diretamente em seus principais setores econômicos. Uma síntese destas informações é apresentada no Quadro 6.

Quadro 6: Informações sobre o Estado do Rio Grande do Sul

Caracterização e limites do Inventário	
Nome do Estado	Rio Grande do Sul
Região	Sul
País	Brasil
Área	281.707,150 km ²
Limites geográficos	Santa Catarina, Uruguai, Argentina e Oceano Atlântico
População	10.882.965 habitantes (2022)
PIB 2022 (R\$)	593,63 bilhões
Clima	Subtropical
Biomass	Mata Atlântica e Pampa

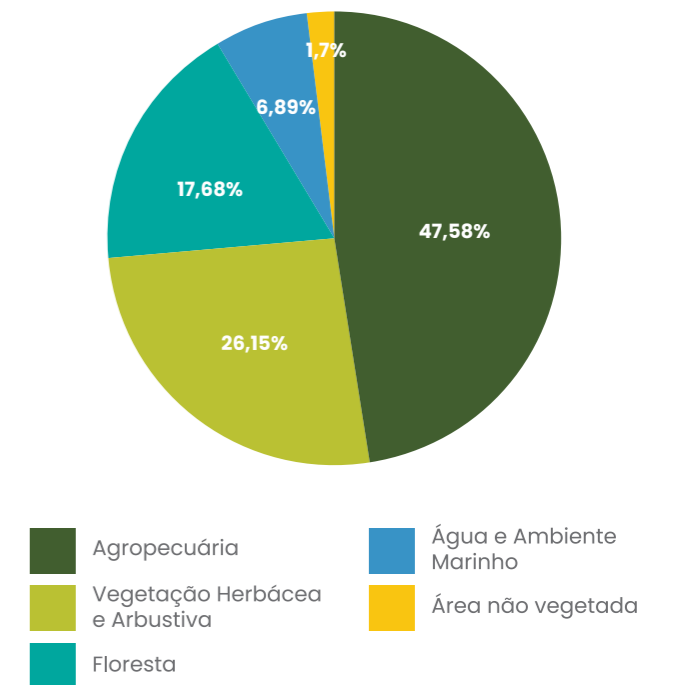
Fonte: Adaptado de IBGE (2022, 2023a, 2023b) e Governo do RS (2024b)

3.1. COBERTURA E USO DA TERRA

De acordo com a Plataforma MapBiomass (2023), o Estado do Rio Grande do Sul apresentava, em 2023, cerca de 51% de cobertura natural e 49% de áreas de uso antrópico. Entre as formações naturais, destacavam-se as formações florestais (17,68%) e a vegetação arbustiva e herbácea (26,15%), sendo que 93,14% desta última corresponde à formação campestre típica do bioma Pampa. Os corpos d'água ocupavam aproximadamente 6,89% da área estadual, enquanto as áreas não vegetadas correspondiam a 1,70% do território, conforme ilustrado na Figura 8.

As atividades agropecuárias predominavam no uso do solo, abrangendo 47,58% da área total do Estado. Dentro desse percentual, destacam-se a agricultura (64,05%), os mosaicos de uso agropecuário (24,26%), a silvicultura (8,69%) e as pastagens (3%) (MapBiomass, 2023).

Figura 8: Cobertura e uso da terra do Rio Grande do Sul em 2023



Fonte: ICLEI adaptado de Projeto MapBiomass, 2023.

2. De acordo com o Governo do Rio Grande do Sul (2022), o PIB do estado apresentou, em 2020, um desempenho inferior ao registrado no Brasil, que também sofreu retração de 3,3% no período. Esse desempenho foi atribuído, principalmente, ao impacto da estiagem na agropecuária e no setor de eletricidade. O Governo estima que, caso esses fatores não tivessem ocorrido, o PIB do Rio Grande do Sul teria apresentado uma retração semelhante à média nacional.

Agropecuária

Segundo a SEAPI (2024), em 2023, o Rio Grande do Sul cultivou cerca de 11 milhões de hectares, resultando em uma produção agrícola total de aproximadamente 49 milhões de toneladas. Esse desempenho representa 11% da área destinada à colheita no Brasil e 45% da área total cultivada na região Sul. No que se refere à produção, o Estado respondeu por 3% da produção nacional de lavouras e por 24% da produção total da região Sul (SIDRA-IBGE, 2023b).

Essa produção concentrou-se fortemente na soja, que liderou com 59,24% da área cultivada e respondeu por 37,26% da produção. Outros grãos relevantes foram o milho silagem, com 22,54% da produção em apenas 3,21% da área, o arroz, com 14,67%, e o milho grão, com 9,18% da produção. Embora o trigo tenha ocupado 1,5 Mha (13,67%), contribuiu com 5,3% da produção (SEAPI, 2024).

Além dos grãos, cultivos perenes e frutas também se destacaram, com produções relevantes de uva (703 mil t), maçã (493 mil t), tabaco (289 mil t) e erva-mate (273 mil t). As hortaliças, como alface, tomate, couve-brócolis e moranga cabotiá, demonstraram bom desempenho produtivo, ainda que em áreas reduzidas, refletindo a diversificação da produção agrícola gaúcha (SEAPI, 2024).

No setor pecuário, o Estado contabilizou um rebanho total de 181,9 milhões de cabeças. Os galináceos dominaram com 158,8 milhões, seguidos pelos bovinos de corte e leite com 12 milhões, suínos com 6,5 milhões e ovinos com 3,36 milhões. Também foram registrados 490 mil equinos, 649 mil codornas, 57 mil caprinos e 46 mil bubalinos, reafirmando a expressiva contribuição da pecuária para a economia agropecuária gaúcha (SEAPI, 2025a; SEAPI, 2025b; SIDRA-IBGE, 2023a).

Essa robusta atividade agropecuária, base da economia gaúcha, representa também a principal fonte de emissões de GEE do Estado, como detalhado no Capítulo 4, exigindo atenção especial a práticas de manejo e inovações para a sustentabilidade.

Remoções devido à cobertura e uso da terra

Paralelamente às emissões, e de acordo com o Quarto Inventário (MCTI, 2020), as Unidades de Conservação (UCs) e as Terras Indígenas (TIs) no Brasil são classificadas como áreas sob manejo. Por esse motivo, a remoção de carbono realizada pela vegetação nativa nessas áreas é considerada de origem antrópica e, portanto, deve ser incluída no cálculo dos inventários. Segundo o MMA (2025), atualmente, o Estado abriga 98 Unidades de Conservação ativas, sendo 8 sob gestão federal, 24 estaduais, 26 municipais e 40 classificadas como Reservas Particulares do Patrimônio Natural. A Tabela C1, do Anexo IV, apresenta as UCs presentes no Estado.

Quanto à população indígena, o Censo de 2022 aponta que mais de 36 mil pessoas indígenas vivem no Estado, das quais cerca de 15 mil estão distribuídas em 51 Terras Indígenas existentes. Segundo dados da FUNAI, emitidos em 2025, essas terras estão em diferentes fases de regularização: 21 estão em estudo, 5 foram declaradas, 3 estão delimitadas, 19 encontram-se homologadas e 3 são classificadas como reservas indígenas. A Tabela C2, do Anexo IV, apresenta as TIs presentes no Estado.

Além da manutenção das UCs e TIs, o Estado apresenta outros processos que contribuem para a remoção de GEE, como o estoque de carbono em produtos florestais madeireiros e a regeneração de vegetação secundária. Cada uma dessas categorias representa tanto estratégias de conservação, quanto usos produtivos da biomassa florestal que evitam a liberação imediata de CO₂ à atmosfera.

3.2. ENERGIA

Segundo o Departamento de Energia - SEMA (2025), o balanço energético do Rio Grande do Sul de 2023 revela uma matriz energética diversificada, com a maior parcela da produção estadual concentrando-se em combustíveis fósseis. O petróleo foi responsável por 54,88% da energia primária, seguido pela lenha (9,94%), óleo vegetal (9,03%), hidrelétrica (7,86%), carvão mineral (7,36%) sendo as demais fontes responsáveis por 10,93% (Figura 9).

A predominância de combustíveis fósseis nesta matriz, especialmente nos setores de transporte e indústria, posiciona a energia como o segundo maior contribuinte para as emissões de GEE do RS, um desafio para a sua transição energética no Estado.

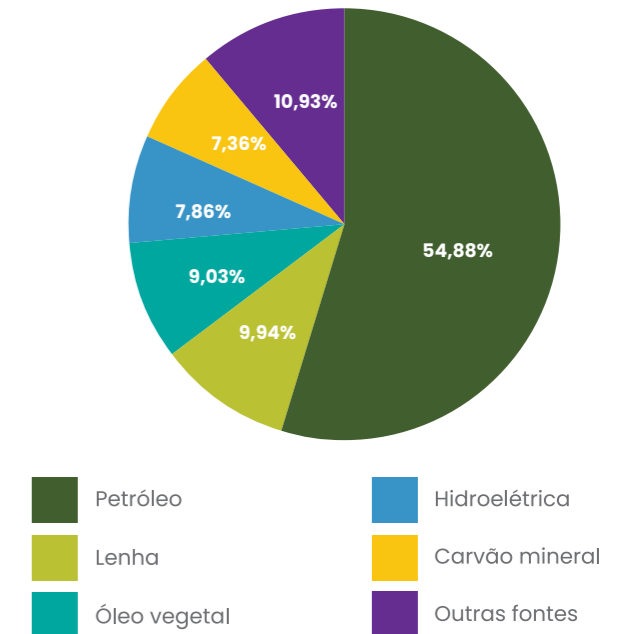
O Estado apresentou ainda um volume expressivo de transformação de energia, com destaque para as refinarias de petróleo e para as centrais elétricas. As perdas no processo de conversão e distribuição foram relativamente baixas, refletindo uma boa eficiência do sistema energético gaúcho (Departamento de Energia - SEMA, 2025).

Em 2023, o consumo final de energia no Rio Grande do Sul alcançou aproximadamente 12 mil toneladas equivalentes de petróleo (ktep), evidenciando uma matriz energética dominada pelos setores industrial e de transportes, que liderou o consumo energético estadual, totalizando 45%. A indústria foi responsável por 2.696 ktep, representando 23% do total consumido, com destaque para os segmentos de alimentos e bebidas (25%), papel e celulose (20%) e produtos químicos (12%). Nesse setor, a energia elétrica, o GLP, a lenha e o óleo diesel figuraram como principais insumos energéticos (Departamento de Energia - SEMA, 2025).

O setor agropecuário consumiu 12%, principalmente na forma de diesel e eletricidade, enquanto o setor residencial utilizou 12%, com destaque para eletricidade, GLP e lenha. Já o setor comercial demandou 4%, concentrando seu consumo em eletricidade. Os setores público e energético consumiram, respectivamente, 1% e 2%, enquanto outros usos não identificados

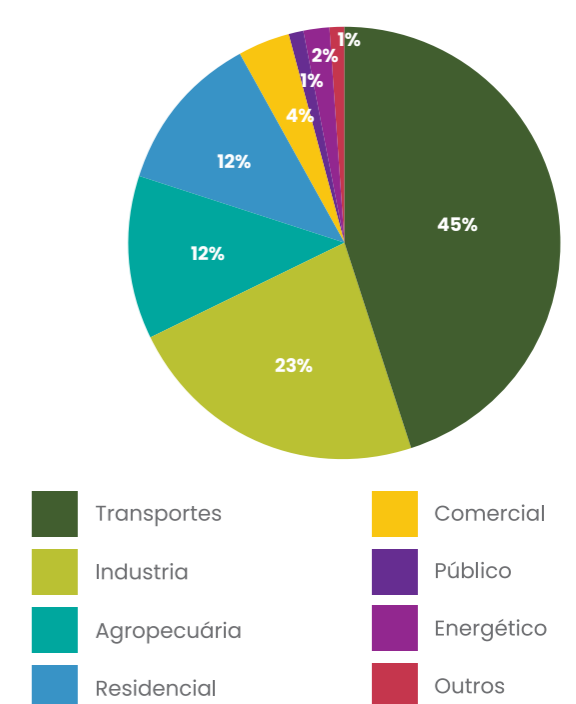
consumiram 1% (Departamento de Energia - SEMA, 2025). A relação do consumo final de energia por setor pode ser visualizada na Figura 10.

Figura 9: Matriz energética do Rio Grande do Sul em 2023



Fonte: ICLEI adaptado de SEMA, 2025.

Figura 10: Setores consumidores de energia do Rio Grande do Sul em 2023



Fonte: ICLEI adaptado de SEMA, 2025.

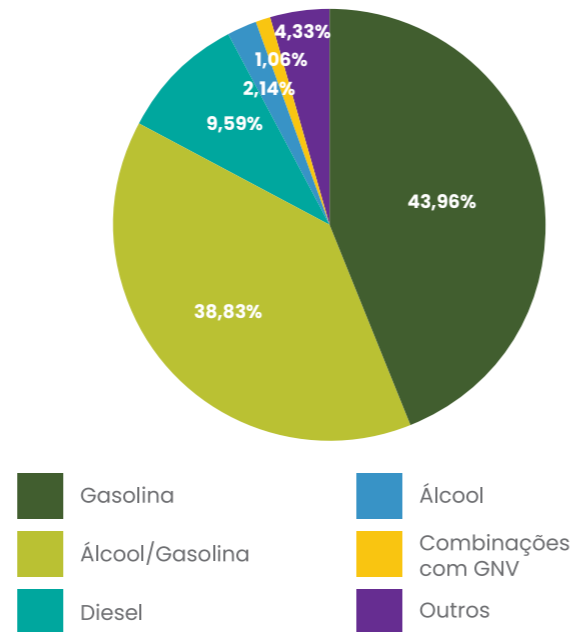
3.3. TRANSPORTES

Observa-se que, em 2023, a maioria da frota no Rio Grande do Sul era composta por veículos movidos exclusivamente a gasolina, representando 43,96% do total. Em seguida, destacam-se os veículos com motorização combinada álcool e gasolina³, que corresponderam a 38,83%. Os veículos movidos a diesel representaram 9,59%, enquanto aqueles abastecidos unicamente com álcool somaram 2,14%. Veículos que utilizavam gás natural veicular (GNV), seja isoladamente ou em combinação com outros combustíveis, representavam frações menores da frota, somando 5,39% no total (Detran RS, s.d.). Ao lado a Figura 11 apresenta o uso de combustíveis em transportes.

Em 2023, o consumo final de combustíveis para o setor de transporte no Rio Grande do Sul totalizou aproximadamente 31.092 ktep, distribuídos entre diferentes fontes energéticas. O óleo diesel apresentou a maior participação, respondendo por 13.206 ktep (42%), seguido da gasolina A, com 11.753 ktep (38%) (Departamento de Energia - SEMA, 2025).

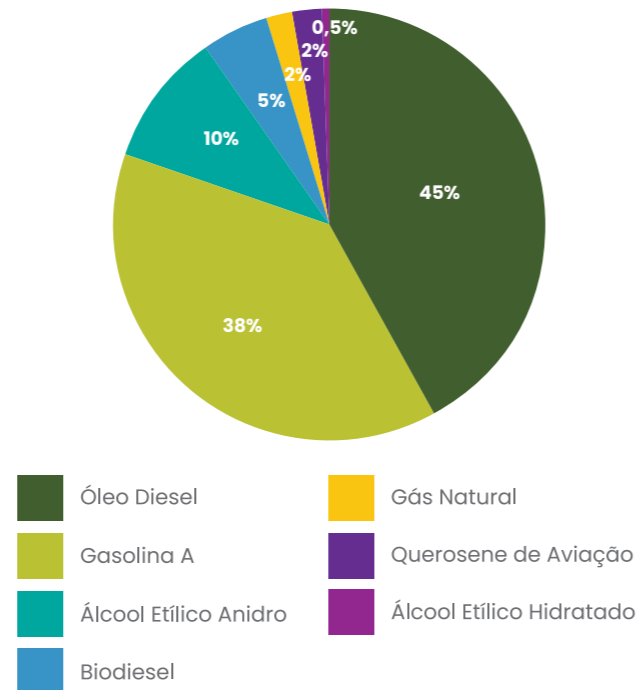
Os álcoois corresponderam a 10,5% do total, sendo 3.021 ktep de etanol anidro (10%) e 142 ktep de etanol hidratado (0,5%). O biodiesel, por sua vez, contribuiu com 1.676 ktep (5%), refletindo sua obrigatoriedade de mistura ao diesel fóssil. Por fim, os combustíveis de menor participação foram o gás natural veicular (539 ktep, 2%) e o querosene de aviação (697 ktep, 2%), conforme apresentado na Figura 12 (Departamento de Energia - SEMA, 2025).

Figura 11: Percentual da frota por tipo e combustível do Rio Grande do Sul em 2023



Fonte: ICLEI adaptado de Detran RS, s.d.

Figura 12: Percentual de consumo de combustíveis em transportes do Rio Grande do Sul em 2023



Fonte: ICLEI adaptado de DEE-SEMA, 2023.

3. Embora a frota flex represente parcela expressiva, os dados de comercialização de combustíveis apontam para um predomínio do consumo de gasolina. Em 2023, as vendas pelas distribuidoras somaram aproximadamente 3,8 milhões m³ de gasolina, contra 55 mil m³ de álcool (ANP, 2025).

3.4. RESÍDUOS

Resíduos Sólidos

De acordo com o SINISA, em 2023, o atendimento da população com cobertura do serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares no Rio Grande do Sul alcançou 90%, enquanto 10% seguem sem acesso ao serviço. No que se refere à coleta seletiva, 60% da população foi atendida e 40% ainda não dispunha do serviço (SINISA, 2025b). De acordo com o SINISA (2025a), 78% da população, em 2023, recebia o serviço de coleta de resíduos pelo menos uma vez por semana em suas residências.

Quanto à disposição final dos resíduos sólidos, em 2023, foram destinados 2,88 Mt, dos quais 99% tiveram como destino aterros sanitários, enquanto 0,69% foram dispostas em aterros controlados ou lixões (SINISA, 2025b).

Considerando as tecnologias de destinação aplicadas no Estado em 2023, os resíduos sólidos foram encaminhados da seguinte forma: 2.556.440 toneladas para aterros (26%), 955.771 toneladas para compostagem (10%), 113.480 toneladas para incineração (1%) e 2.746.436 toneladas para reciclagem (28%) e outras tecnologias que juntas somam 34% do total (FEPAM, 2025) (Figura 13).

A composição dos resíduos sólidos gerados em 2023 foi caracterizada por uma predominância de matéria orgânica, que representou 45% do total. Entre os demais resíduos, os principais componentes foram plástico (17%), papel e papelão (13%), e tecidos (12%). Outros materiais apareceram em menor proporção, como vidro (2%), madeira (1%) e resíduos classificados como "outros" (10%) (SEMA, 2022).

Esgotamento sanitário

O volume total de esgoto coletado em 2023 foi de 255,36 milhões de m³, dos quais 55,66% foram tratados (SINISA, 2025c). No Estado, cerca de 39% da população tinha acesso à rede coletora de esgoto, sendo que 23% contava com coleta e tratamento de efluentes, enquanto 16% dispunha apenas da coleta, sem tratamento.

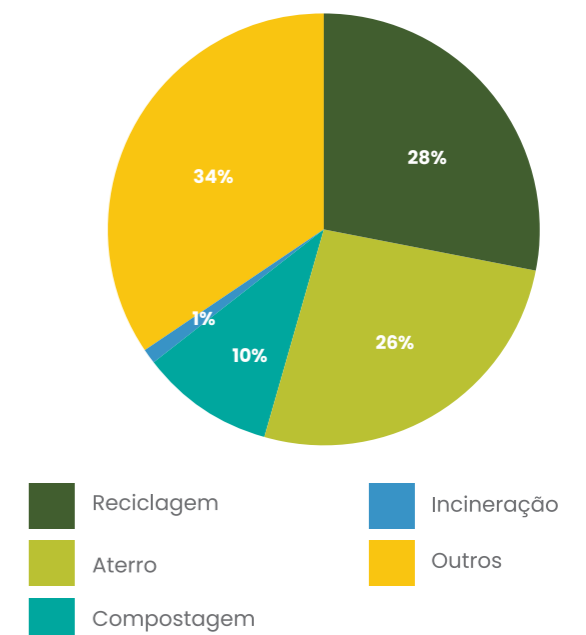
Além disso, 29% da população utilizava fossas sépticas, e 32% permanecia sem qualquer forma de coleta ou tratamento de esgoto (SINISA, 2025c; IBGE, 2024a).

Esgotamento industrial

Em 2023, o Rio Grande do Sul gerou volumes representativos de efluentes líquidos associados a diversas atividades econômicas. Na agropecuária, o destaque foi para o setor bovino, responsável por 411.961,15 toneladas de efluentes, seguido pela avicultura, com 129.237,23 toneladas, e pela suinocultura, que contribuiu com 82.864,07 toneladas (SIDRA, 2023a).

Além dos resíduos líquidos de origem animal, a indústria de celulose se destacou pela escala expressiva de suas operações, gerando cerca de 2,82 milhões de toneladas de efluentes por ano. Vale destacar que o tratamento industrial não é reportado nem contabilizado no sistema de esgotamento sanitário, pois o SNIS/SINISA abrange exclusivamente os efluentes de origem doméstica (SIDRA, 2023a; SIDRA s.d.).

Figura 13: Tecnologias de destinação de resíduos do Rio Grande do Sul em 2023.



Fonte: ICLEI adaptado de FEPAM, 2025.

3.5. PROCESSOS INDUSTRIAIS

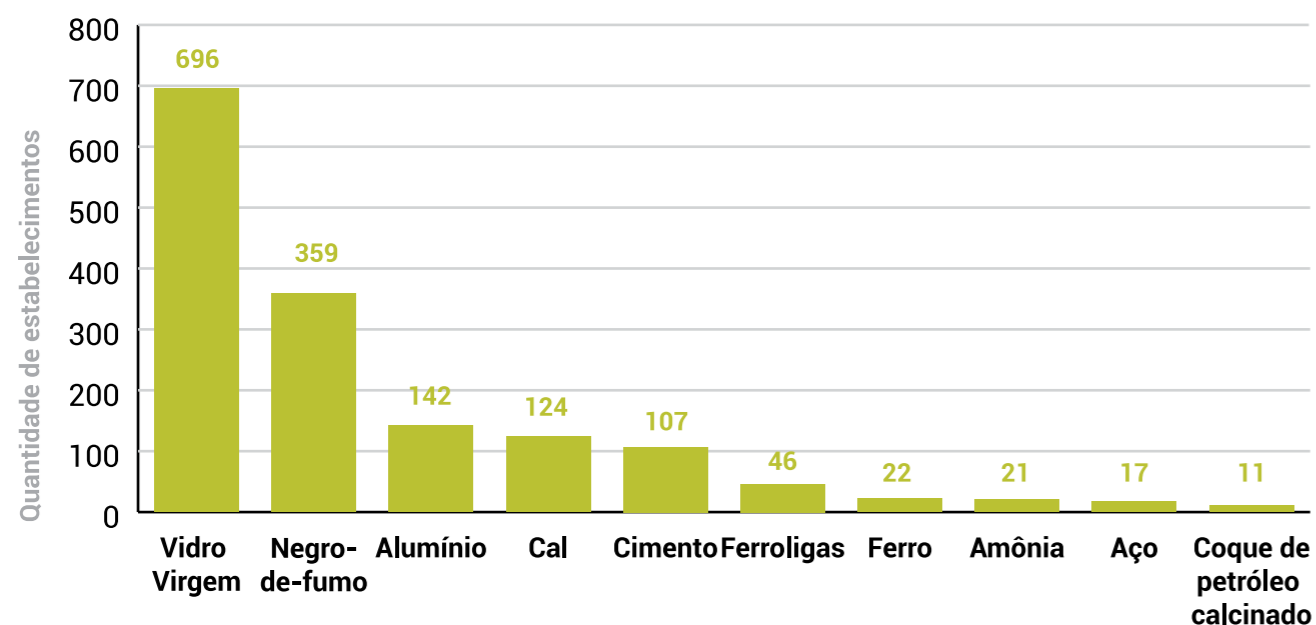
Em 2023, o Estado contava com um total de 1.545 estabelecimentos industriais nos setores associados ao IPPU. O setor com maior número de unidades era o de fabricação de vidro e artigos de vidro, com 696 estabelecimentos voltados à produção de vidro plano, de segurança, embalagens e outros produtos. Em seguida, destacava-se a fabricação de produtos químicos orgânicos, como o negro-de-fumo, com 359 estabelecimentos. A produção de alumínio e suas ligas em formas primárias contabilizava 142 unidades, enquanto os setores de fabricação de cal e gesso e de cimento possuíam, respectivamente, 124 e 107 estabelecimentos (FIERGS, 2025).

Os segmentos mais intensivos em emissões e ligados à indústria pesada apresentavam números menores, como a produção de ferro gusa (22), ferroligas (46) e semiacabados de aço (17). Já a fabricação de intermediários para fertilizantes contava com 21 estabelecimentos, e a de outros produtos derivados do petróleo, como o coque de petróleo calcinado, possuíam 11 unidades industriais (FIERGS, 2025). A Figura 14 apresenta a quantidade dos estabelecimentos industriais no Estado em 2023.

Setores industriais de alto potencial emissor – e relevantes para o escopo de IPPU – apresentaram comportamentos variados no Rio Grande do Sul. A fabricação de produtos químicos representou 12,6% do Valor da Transformação Industrial (VTI) do Estado em 2021, embora sua produção física tenha registrado retração de -1,4% ao ano entre 2017 e 2022, com queda acentuada de -6,6% em março de 2024. A fabricação de produtos de minerais não metálicos apresentou desempenho modesto, com crescimento médio de 0,5% ao ano entre 2017 e 2022 e queda de -5,3% em 2021. Este grupo responde por 2,1% do VTI estadual (SPGG 2023; 2024).

No período 2017–2022, a fabricação de produtos de metal cresceu 8,0% ao ano, enquanto a metalurgia em si registrou crescimento modesto (0,1%). Em 2024, a metalurgia cresceu 14%, contrastando com retração de -6,6% nos produtos metálicos manufaturados. No campo energético, o setor de coque, derivados do petróleo e biocombustíveis cresceu 4,1% ao ano entre 2017 e 2022, com expansão expressiva de 93,9% em março de 2024 (SPGG 2023; 2024).

Figura 14: Quantidade de estabelecimentos industriais do Rio Grande do Sul em 2023.



Fonte: ICLEI adaptado de FIERGS, 2025.

Capítulo 04

RESULTADOS

Neste capítulo, apresentamos uma análise detalhada das emissões e remoções de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Rio Grande do Sul entre 2018 e 2023. Ao desvendar as tendências por setor, identificamos os principais desafios e oportunidades para que o Estado avance em sua agenda climática, rumo a um futuro de carbono zero e maior resiliência.

Além da análise ambiental, este capítulo buscará contextualizar os resultados das emissões e remoções com a dinâmica econômica do Rio Grande do Sul e a produtividade de seus setores-chave. A meta do Estado é clara: reduzir suas emissões enquanto impulsiona o desenvolvimento econômico e gera mais resultados. Portanto, onde pertinente, serão estabelecidas conexões entre as atividades emissoras, os volumes de produção e o impacto econômico, destacando como as estratégias de mitigação podem não apenas proteger o meio ambiente, mas também otimizar a eficiência produtiva e agregar valor à economia gaúcha, promovendo um desenvolvimento verdadeiramente sustentável.

As emissões brutas representam as emissões de gases de efeito estufa lançadas na atmosfera no Rio Grande do Sul, considerando todas as atividades emissoras. Já as emissões líquidas resultam do total bruto subtraindo a remoção por meio de atividades que consideram o sequestro de CO₂, como a manutenção de áreas protegidas, estoque de carbono em produtos florestais madeireiros e regeneração de vegetação secundária. Desta forma, tem-se a equação:

$$\text{Emissões Líquidas} = \text{Emissões Brutas} - \text{Remoções de Carbono}$$

É importante destacar que existem atividades fontes de emissão e remoções que ocorrem na

fronteira do Estado que, no entanto, ainda não são contabilizadas no atual inventário do Rio Grande do Sul. Essas atividades não foram contempladas devido à ausência de dados e fatores de emissão adequados, falta de consonância científica em relação aos métodos mais apropriados para se estimar emissões ou remoções, ou até mesmo por não serem apresentadas informações consolidadas nas diretrizes do IPCC.

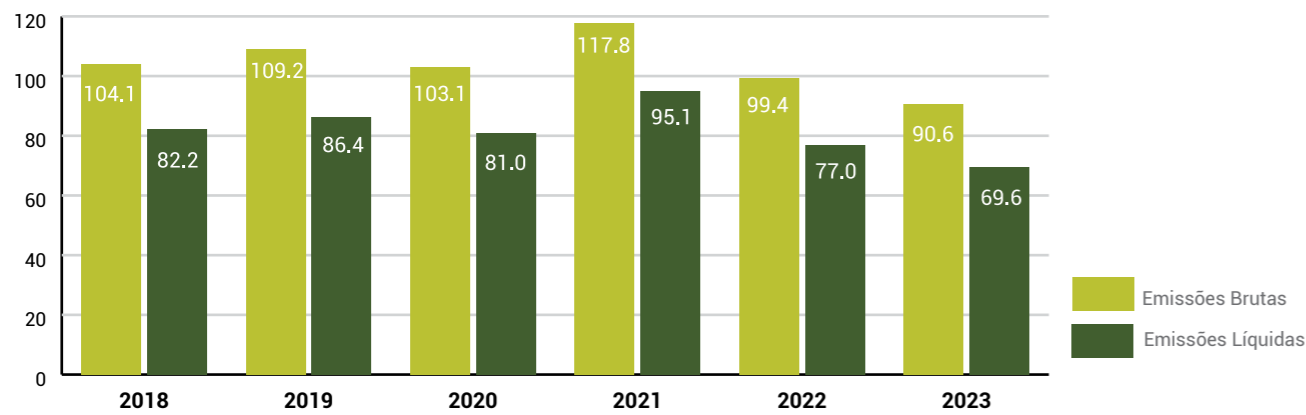
Entre essas atividades estão as emissões e remoções relacionadas a solos agrícolas em áreas com pastagens (de baixo, médio ou alto vigor), sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Sistemas Agroflorestais, florestas plantadas e lavouras cultivadas sob diferentes sistemas, como o Sistema de Plantio Direto (SPD), Plantio Direto (PD) e Plantio Convencional (PC). Essas atividades possuem um impacto significativo nos resultados do inventário, com destaque para as remoções associadas a florestas plantadas e lavouras cultivadas, que podem contribuir positivamente para o balanço de carbono do Estado.

4.1. VISÃO GERAL

No resultado consolidado, ao longo dos anos analisados, observou-se relativa estabilidade das emissões brutas até 2020. A partir de 2021, houve um aumento, seguido de redução nos anos seguintes. Entre 2021 e 2023, as emissões brutas variaram entre 118 e 90,6 milhões de toneladas de CO₂ equivalente (MtCO₂e) por ano, representando uma queda de 23%. As emissões líquidas seguiram o mesmo padrão de comportamento, com variações entre 95,1 e 69,6 MtCO₂e por ano entre 2021 e 2023, marcando uma queda de 27% e um ligeiro aumento nas remoções.

A Figura 15 ilustra a evolução dessas emissões ao longo dos anos.

Figura 15: Emissões brutas e líquidas no Rio Grande do Sul (2018-2023)



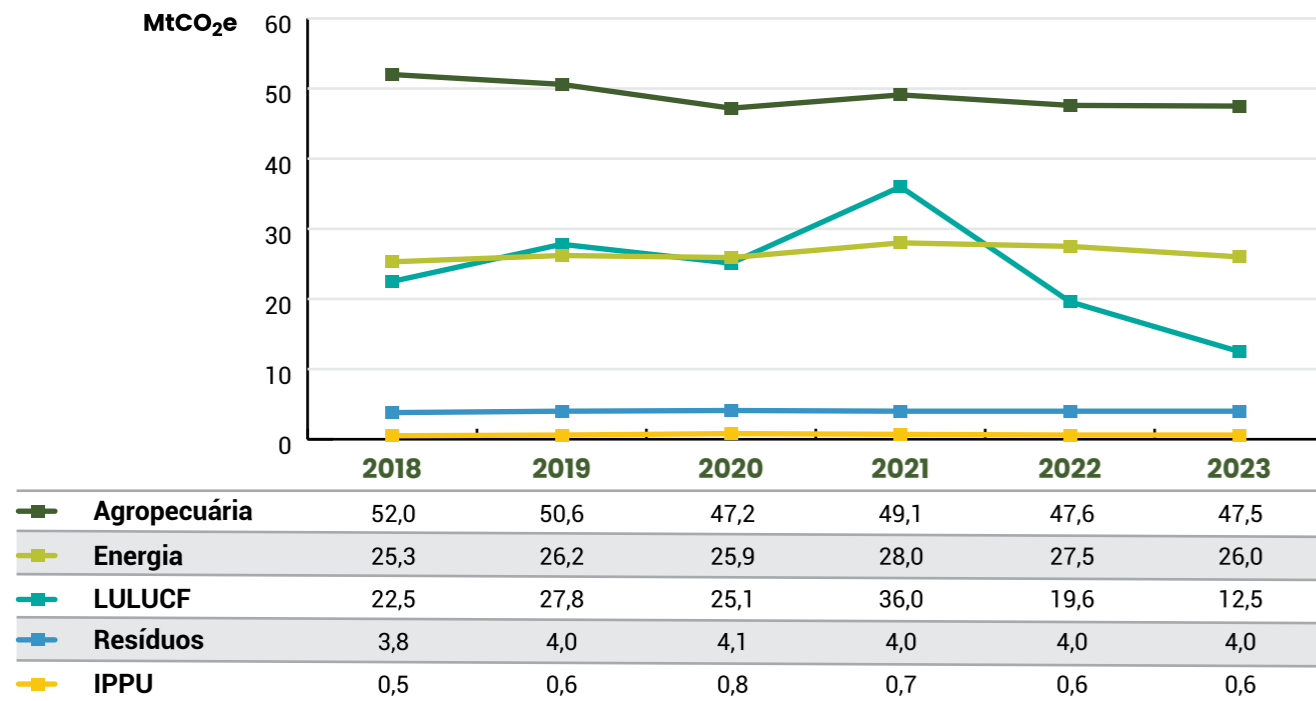
Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Apesar da tendência de queda, houve variações importantes de um ano para o outro. Em 2019, por exemplo, as emissões líquidas cresceram 5,1% em relação ao ano anterior. Em 2020, no entanto, registrou-se uma redução de 6,2%, influenciada principalmente pelos impactos da pandemia de COVID-19, que provocou queda nas atividades industriais, nos transportes e no consumo de energia.

Em 2021, houve um aumento expressivo nas emissões (+17,3%), impulsionado pela retomada

das atividades econômicas e pela intensa seca que afetou o Estado, reduzindo a capacidade de geração de energia hidrelétrica e levando ao maior uso de termelétricas, fontes mais emissoras de carbono⁴. Nos anos seguintes, verificaram-se quedas mais acentuadas, com reduções de 19% em 2022 e 9,7% em 2023, explicadas por fatores como a atenuação dos efeitos da seca, redução de conversões de áreas naturais para uso antrópico e maior eficiência energética em setores econômicos do Estado.

Figura 16: Emissões brutas por setor no Rio Grande do Sul (2018-2023)



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

A Figura 16 apresenta os resultados das emissões brutas considerando a perspectiva setorial, destacando a predominância de emissões provenientes das atividades de Agropecuária, que representaram, em média, 47% das emissões ao longo de todos os anos analisados. O segundo maior contribuinte foi o setor de Energia, com uma média de 25% das emissões, seguido por Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Florestas (LULUCF), que alcançou seu pico de emissões em 2021 e representou, em média, 23%.

Os setores de Tratamento de Resíduos e Processos Industriais tiveram as menores contribuições durante o período analisado, refletindo uma parcela reduzida no total das emissões brutas.

O perfil médio das emissões brutas do Estado está ilustrado na Figura 17, enquanto o detalhamento de cada setor será abordado nos próximos tópicos para facilitar a compreensão dos principais fatores que influenciaram essas emissões.

No que se refere às emissões líquidas setoriais, apresentadas na Figura 18, observa-se que o setor de Agropecuária é o maior responsável, representando 60% das emissões estaduais, seguido pelo setor de Energia, com 32%, e pelo setor de Resíduos, com 5%. Já o setor LULUCF (Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas) associado à Agropecuária e Uso da Terra contribuiu com 2%, enquanto o IPPU (Processos Industriais e Uso de Produtos) representou apenas 1% das emissões.

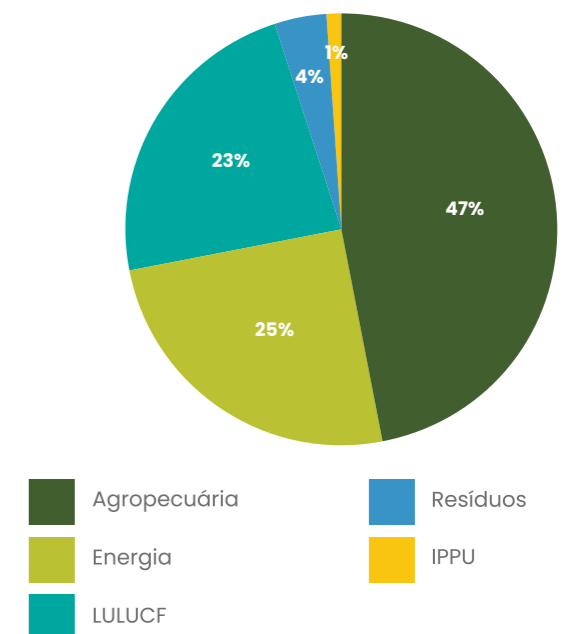
É importante destacar o papel das remoções de CO₂, amplamente concentradas no setor de Mudança do Uso da Terra, que exerce um impacto significativo no balanço de emissões do Estado. Em 2022 e 2023, o setor apresentou captura de CO₂ superior às suas emissões, resultando em um balanço líquido negativo para esses anos. Esse fator reforça a relevância das práticas de manejo e preservação do uso do solo no Rio Grande do Sul.

A Figura 18 detalha o comportamento das remoções e o balanço de emissões para cada ano analisado, enquanto a Figura 19 apresenta o perfil médio das emissões líquidas considerando as contribuições dos setores ao longo do período avaliado.

4. Durante períodos de seca, a redução na capacidade das hidrelétricas aumenta a demanda por termelétricas, que possuem um perfil mais poluente. Em consequência, a participação de fontes fósseis na geração de eletricidade subiu de 15%, em 2020, para 20%, em 2021 (IEMA, 2022).

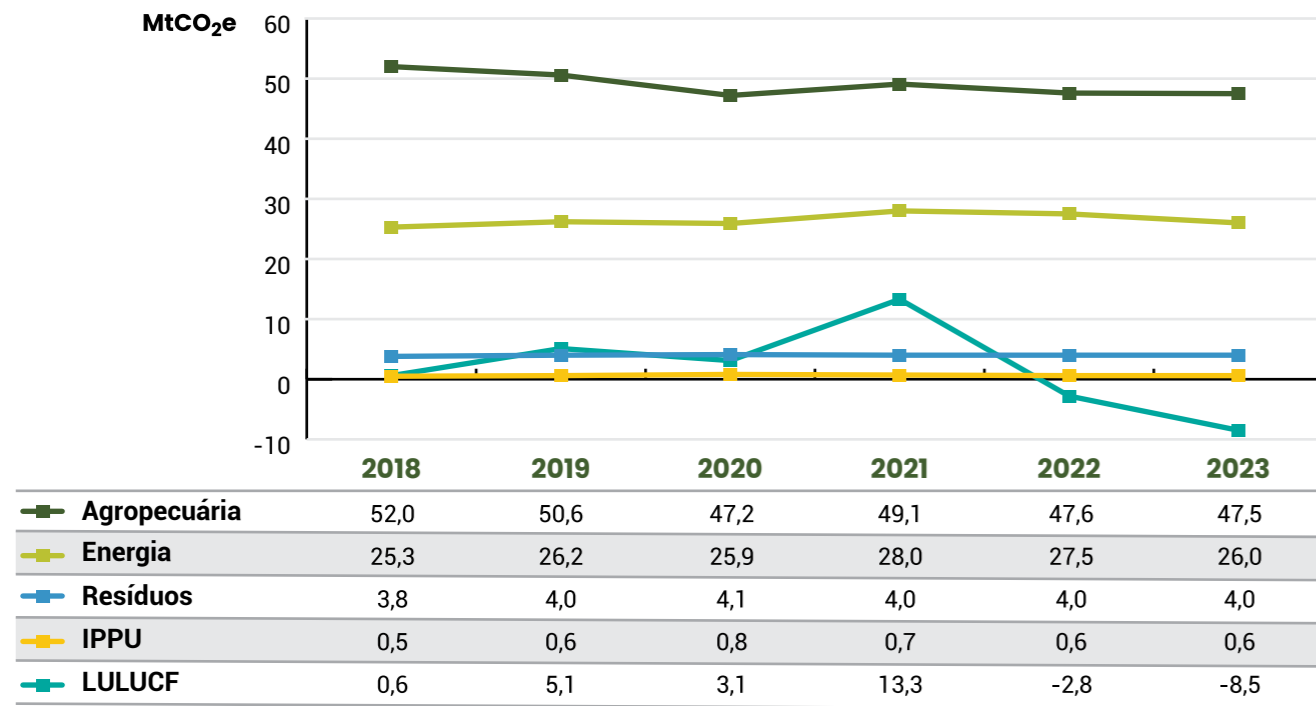
As atividades de agropecuária, principal fonte de emissões no Rio Grande do Sul, acumularam um total de 294 MtCO₂e ao longo do período analisado. Apesar de sua relevância, o setor registrou uma redução de 8,6% nas emissões entre 2018 e 2023, reflexo da menor produtividade de culturas temporárias como trigo, soja, milho, mandioca, cana-de-açúcar e feijão (DEE-SPGG, s.d.). Uma exceção foi o arroz, que apresentou aumento na produtividade durante o período (IRGA, 2019:2024). Outro fator que contribuiu para a redução foi a diminuição dos rebanhos de bovinos, bubalinos, equinos, caprinos e galináceos. Em contrapartida, houve aumento nos rebanhos de suínos e ovinos (SEAPI, 2025a, 2025b; SIDRA, 2023a).

Figura 17: Perfil de emissões brutas por setor



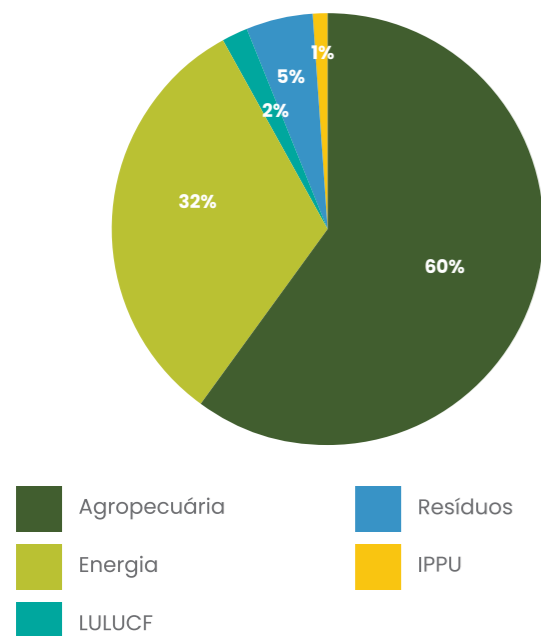
Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Figura 18: Emissões líquidas por setor no Rio Grande do Sul (2018-2023)



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Figura 19: Perfil de emissões líquidas por setor



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

O setor de Energia, por sua vez, o segundo maior emissor, contribuiu com um total de 159 MtCO₂e no período. Diferentemente da agropecuária, o setor registrou um pequeno aumento de 2,6%, refletindo principalmente a maior demanda energética em anos críticos, como 2021, marcado pela seca e maior uso de termelétricas. Nos setores de menor participação percentual, o de Resíduos apresentou um crescimento acumulado de 5%, enquanto o setor IPPU (Processos Industriais e Uso de Produtos) registrou um acréscimo de 7,3% em suas emissões totais. Por outro lado, o setor de Mudança do Uso da Terra, a partir de 2022, passou a sequestrar mais CO₂ do que emitir, reforçando seu papel como um importante aliado no equilíbrio do balanço de emissões do Estado.

Esses dados evidenciam a dinâmica global e setorial das emissões de GEE no Rio Grande do Sul, mostrando tanto os avanços quanto os desafios para cada setor no período analisado. O comportamento específico de cada setor será explorado com maior detalhe nos tópicos a seguir.

4.1.1. Agropecuária

A Agropecuária, alicerce da economia gaúcha e motor da produção de alimentos, figura como o setor com maior contribuição para as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Rio Grande do Sul. Sua expressiva participação, especialmente na produção de arroz, soja e na pecuária bovina e suína, torna a descarbonização deste setor um desafio central e uma oportunidade estratégica para que o Estado avance em sua agenda climática.

Destaca-se que a trajetória das emissões da agropecuária está intimamente conectada às dinâmicas do setor LULUCF (Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas). As decisões sobre o manejo e a expansão das atividades agrícolas e pecuárias influenciam diretamente a conversão do uso da terra, a capacidade de remoção de carbono por florestas e vegetação nativa, e, conseqüentemente, o balanço geral de GEE do estado. Essa interdependência aponta para a necessidade de abordagens integradas que considerem a produção e a conservação de forma complementar.

No Rio Grande do Sul, entre 2018 e 2023, o setor foi responsável por um total de 294 MtCO₂e emitidas, com uma média anual de 49 MtCO₂e. As emissões totais do setor estão ilustradas na Figura 20, que apresenta o comportamento das emissões da Agropecuária durante o período analisado.

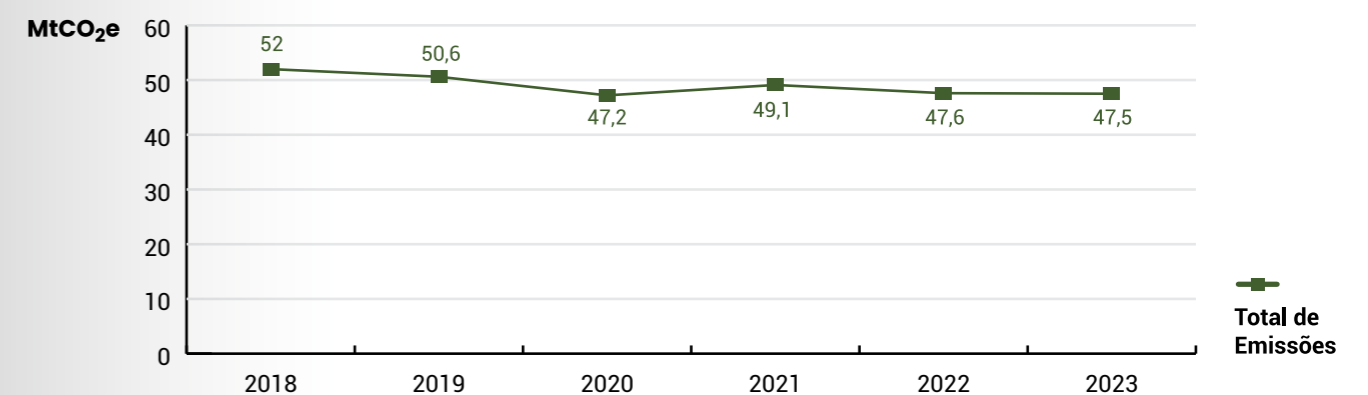
A categoria de Fermentação Entérica, associada principalmente à criação de ruminantes como bovinos, foi a principal fonte de emissões, com 45,7% do total do subsetor. Em seguida, destaca-se a categoria de Manejo de Solos Agrícolas, com 27%

das emissões do subsetor, relacionada ao uso de fertilizantes, práticas de preparo do solo e cultivo em larga escala. Já o cultivo de arroz, tradicionalmente relevante no Estado, respondeu por 17% das emissões, com uma queda de 16% entre 2018 e 2023.

Outras categorias com menor participação também apresentaram reduções expressivas: o manejo de dejetos animais, que representou 5,7% das emissões, teve uma leve redução de 3,2%. Já a queima de resíduos agrícolas, embora com participação marginal (menos de 0,01%), apresentou a maior queda proporcional, com uma redução expressiva de 74,2% no período, tendo iniciado com 842 tCO₂e em 2018 e terminando em 2023 com 217 tCO₂e. Por outro lado, a categoria de Calagem e Aplicação de Ureia, responsável por 4,6% das emissões do subsetor, foi a única que apresentou aumento ao longo dos anos, encerrando o período com um crescimento de 8,2% em relação a 2018.

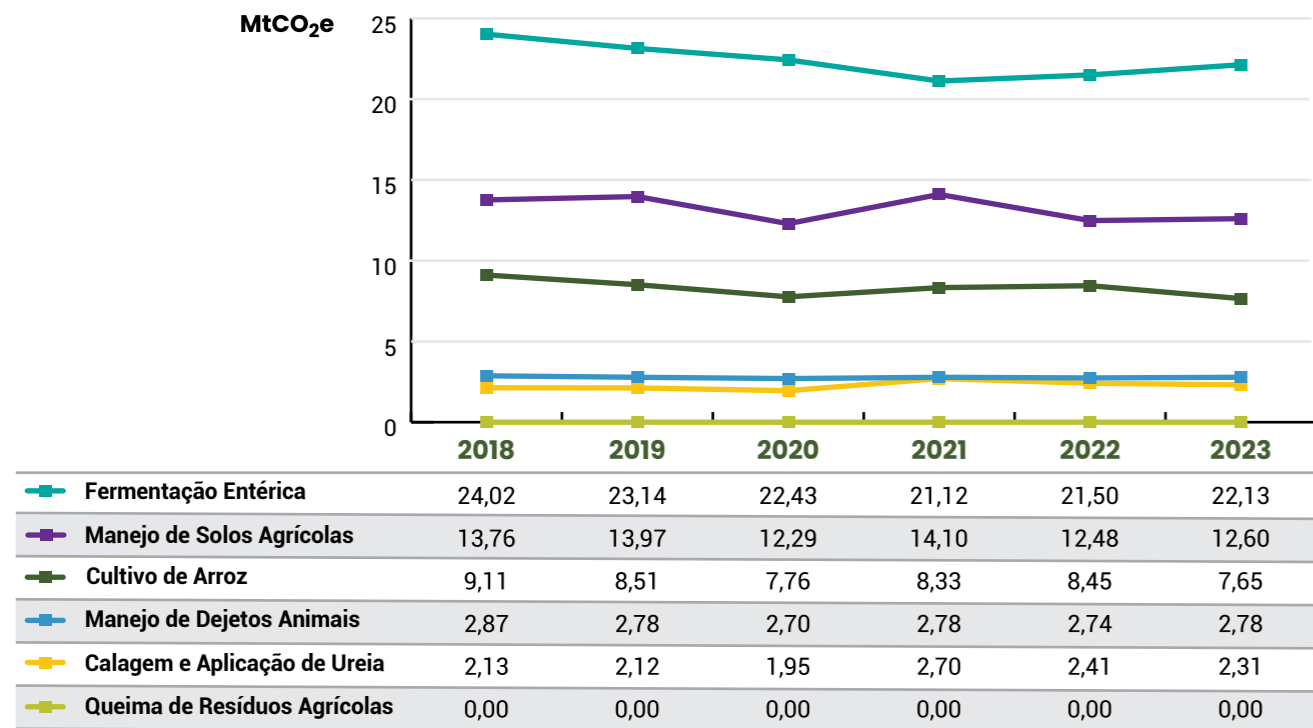
Apesar das oscilações anuais, verificou-se uma tendência geral de queda nas emissões do setor entre 2018 e 2021, possivelmente impulsionada por mudanças no manejo das atividades, redução do rebanho ou maior eficiência produtiva. Ao longo de todo o período, as emissões do setor apresentaram uma redução total de 8,5%, resultado de quedas mais acentuadas em todas as categorias, com exceção da Calagem e Aplicação de Ureia, que foi a única a registrar crescimento. As Figuras 21 e 22 ilustram as emissões anuais e a representatividade de cada categoria, fornecendo uma visão detalhada do comportamento das emissões neste período analisado.

Figura 20: Comportamento das emissões de Agropecuária (2018-2023)



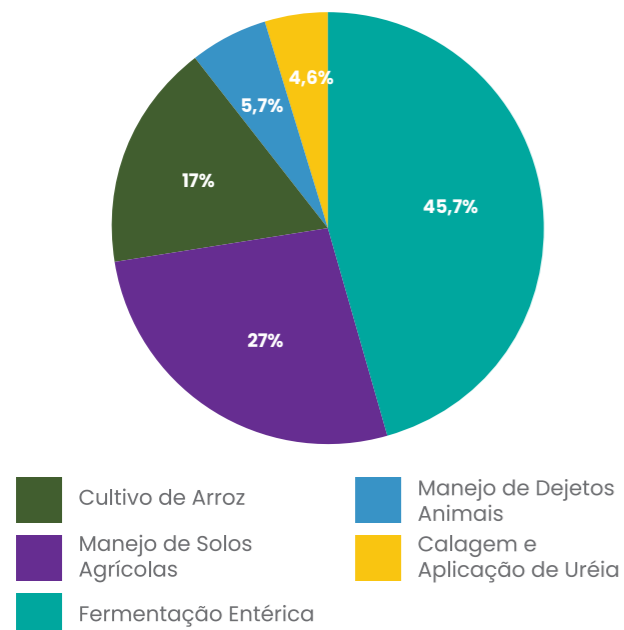
Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Figura 21: Emissões por categoria em Agropecuária (2018-2023)



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Figura 22: Perfil de emissões em Agropecuária (2018-2023)



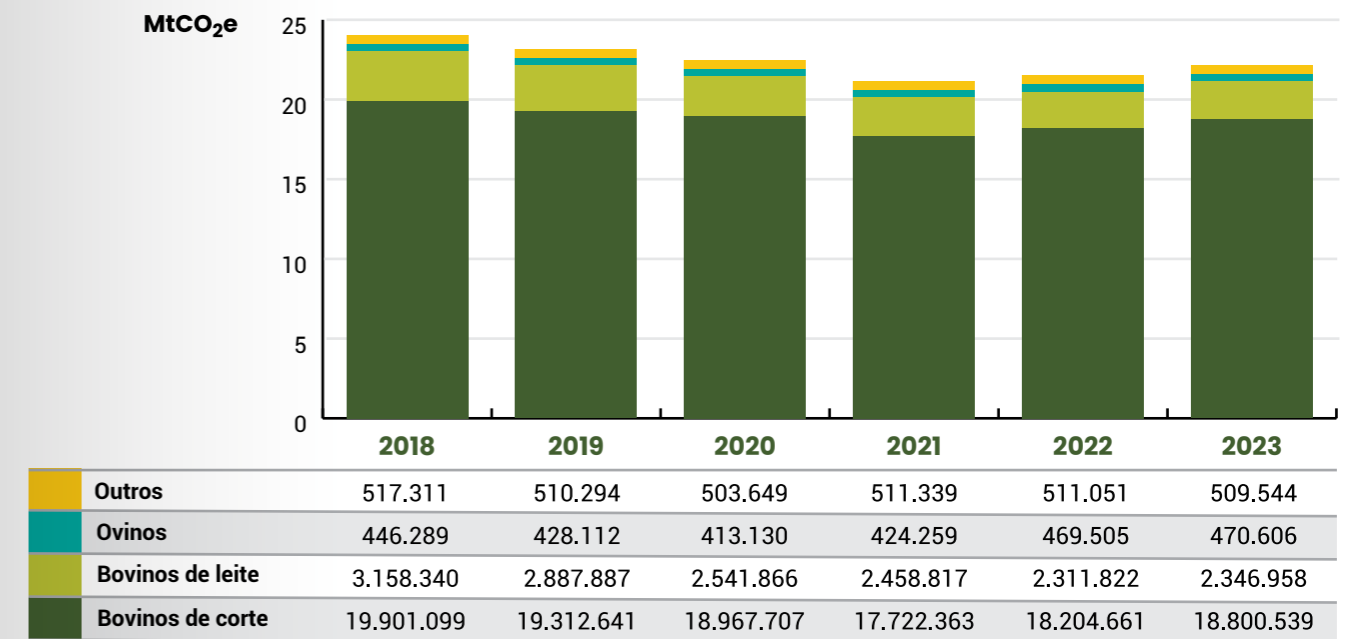
Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

A fermentação entérica, principal fonte de emissões de CO₂e no subsetor de Agropecuária, respondeu por 45,7% do total emitido entre 2018 e 2023. Durante esse período, as emissões dessa categoria totalizaram aproximadamente 134,3 MtCO₂e, com uma média anual de 22,3 MtCO₂e e uma redução acumulada de 7,9%.

A maior parcela das emissões foi originada pelo rebanho de bovinos, que sozinho foi responsável por 95,7% do total, com um volume de 128,6 MtCO₂e. Outras categorias de rebanho tiveram contribuições menores: os ovinos representaram 2%, seguidos por equinos (1,1%) e suínos (0,7%), sendo estas as únicas que superaram 0,5% de participação no total. Os bubalinos e caprinos apresentaram contribuições marginais, enquanto os asininos e muares não registraram emissões e, por esse motivo, não estão representados na Figura 23.

As emissões de CO₂e da categoria de manejo de solos agrícolas somaram aproximadamente 79 MtCO₂e entre 2018 e 2023, representando 27% das emissões totais do subsetor no período, configurando-se como a segunda maior contribuição entre as categorias. A média anual foi de 13,2 MtCO₂e, com uma redução acumulada de 8,4% ao longo do período analisado.

Figura 23: Emissões por rebanho entre 2018 e 2023⁵



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

O comportamento das emissões apresentou variações pontuais ao longo do tempo: houve um leve aumento entre 2018 e 2019 (+1,5%), seguido por uma queda expressiva em 2020 (-12%). Em 2021, as emissões voltaram a crescer de forma significativa (+14,7%), mas diminuíram novamente em 2022 (-11,5%) e registraram uma leve alta em 2023 (+1%).

Entre as atividades emissoras dentro da categoria, destacam-se:

- **RESÍDUOS AGRÍCOLAS (38%):** principal fonte de emissões, embora tenha apresentado uma queda acumulada de 22,4% no período.
- **FERTILIZANTES SINTÉTICOS (30,6%):** segunda maior contribuição, com um crescimento acumulado de 7,5%, refletindo o uso intensivo de insumos nitrogenados na agricultura.
- **DEPOSIÇÃO DE DEJETOS (27,2%):** também relevante, mas sofreu uma redução de 4,1% nas emissões durante o período.
- **USO DE ADUBOS ORGÂNICOS (3,7%):** apresentou uma queda de 9,5% nas emissões ao longo do período.
- **MANEJO DE SOLOS ORGÂNICOS (0,4%):** teve uma participação marginal, com variação praticamente nula no total de emissões.

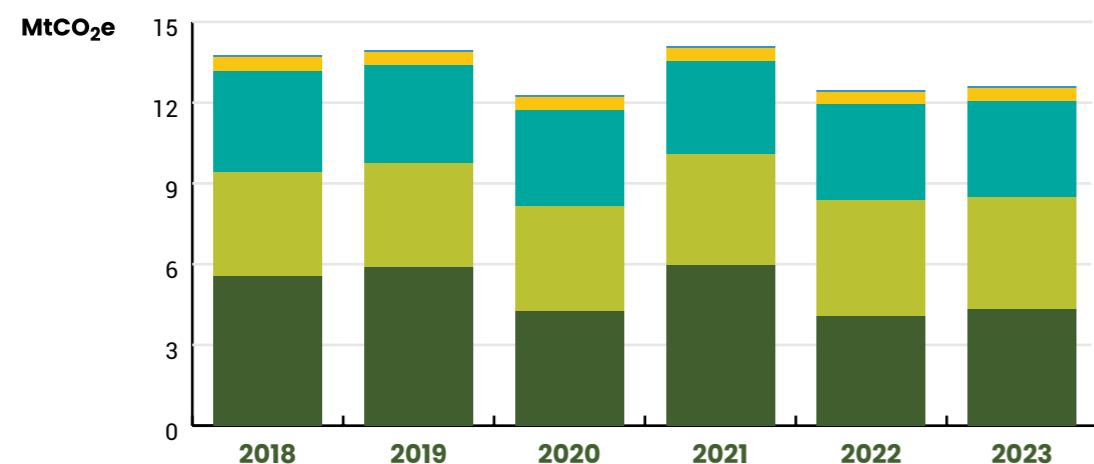
O conjunto dessas atividades reflete a intensificação no uso do solo e de insumos agrícolas, como fertilizantes sintéticos e calcário, que têm impacto direto nas emissões do setor. As oscilações anuais nas emissões estão diretamente relacionadas às condições climáticas (estiagens e chuvas intensas), que geram perdas expressivas no estado (LEUSIN JÚNIOR et al., 2024), além das práticas de manejo adotadas em cada ano.

Na Figura 24, é possível observar a contribuição anual de cada atividade dentro da categoria de manejo de solos agrícolas, permitindo uma visão da dinâmica das emissões no período analisado.

As emissões de CO₂e da categoria de manejo de solos agrícolas refletem uma dinâmica influenciada pelo uso de insumos, práticas de manejo e condições climáticas. Apesar de uma redução acumulada de 8,4% no período analisado, o crescimento no uso de fertilizantes sintéticos e a queda nas emissões de resíduos agrícolas evidenciam tanto avanços quanto desafios na gestão sustentável do solo. O subsetor de Agropecuária, embora ainda seja um dos principais emissores de GEE no Estado, apresenta um perfil de redução e um grande potencial para melhorias adicionais com a adoção de boas práticas agropecuárias, recuperação e manejo de pastagens, manejo mais eficiente de fertilizantes e inovações tecnológicas.

5. A categoria "Outros" engloba as emissões de equinos, suínos, bubalinos e caprinos.

Figura 24: Emissões por técnica ou atividade em solos manejados entre 2018 e 2023⁶



	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Manejo de Solos Orgânicos	57.425	57.715	57.715	57.715	57.715	57.715
Adubos Orgânicos	526.463	495.848	493.712	496.094	479.708	476.239
Deposição de Dejetos	3.754.758	3.652.860	3.564.839	3.445.986	3.530.144	3.601.006
Fertilizantes Sintéticos	3.856.031	3.856.031	3.898.776	4.114.657	4.342.118	4.146.078
Resíduos Agrícolas	5.570.223	5.908.420	4.275.407	5.988.404	4.070.959	4.322.315

Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

4.1.2. Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF)

Para a análise desta categoria, foram incorporados dados de cobertura e alteração de uso da terra do MapBiomass e do estudo "Cadeias Produtivas do Estado do Rio Grande do Sul: mapeamento das emissões e remoções de gases de efeito estufa" (ICLEI; ECOFINANCE, 2025), desenvolvido no âmbito do projeto de Conformidade Climática do Rio Grande do Sul. Esse estudo forneceu informações relevantes, especialmente sobre as remoções associadas aos produtos florestais madeireiros. Além disso, foram incorporados dados disponibilizados pela plataforma SEEG, que já apresenta estimativas sobre emissões e remoções de gases de efeito estufa causadas por mudanças no uso da terra no território gaúcho.

Entre 2018 e 2023, o setor de LULUCF no Rio Grande do Sul apresentou grande volatilidade nas emissões e remoções líquidas de CO₂e. O balanço geral acumulado no período resultou em uma emissão de aproximadamente 10,7 MtCO₂e, com uma média anual de 1,78 MtCO₂e. A variação anual foi marcada

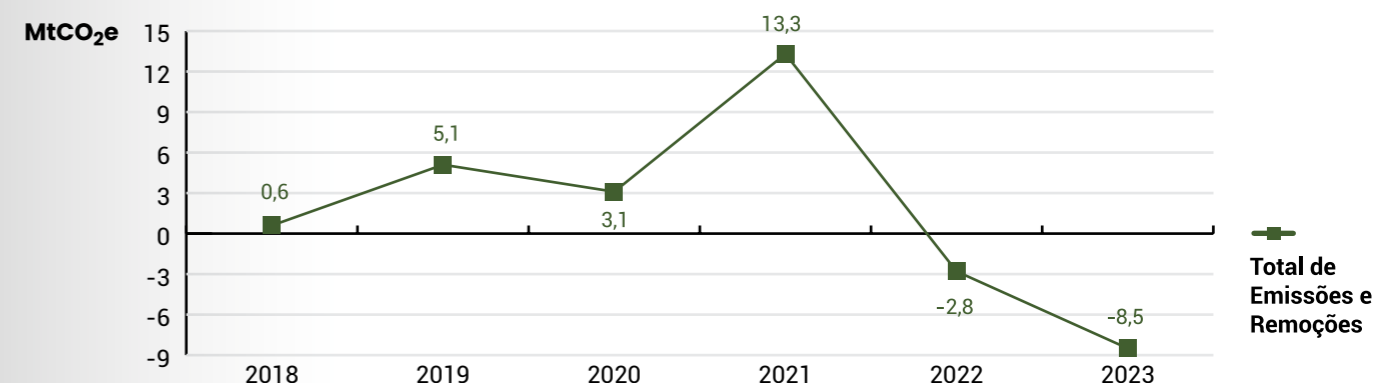
por oscilações acentuadas, incluindo um pico de emissão em 2021 e mais remoções nos anos finais (-2,8 MtCO₂e em 2022 e -8,5 MtCO₂e em 2023), quando passou a remover mais GEE do que a emitir os gases neste setor, assim como demonstrado na Figura 25.

Emissões

A principal fonte de emissões no setor de LULUCF (Uso da Terra, Mudança de Uso da Terra e Florestas) foi a alteração de uso da terra, como a conversão de formações florestais⁷ em pastagens ou áreas agrícolas, resultando na perda de estoques de carbono pela remoção da vegetação. Essa categoria representou 84% das emissões do setor, totalizando 120,6 MtCO₂e no período de 2018 a 2023 e registrando uma redução significativa de 45,7%, passando de quase 19 MtCO₂e em 2018 para cerca de 10 MtCO₂e em 2023. Essa diminuição está diretamente associada à redução do desmatamento, ou seja, à menor conversão de formações florestais em áreas agrícolas ou pastagens.

As emissões por carbono orgânico no solo, responsáveis por 12% das emissões do setor,

Figura 25: Comportamento de emissões e remoções de LULUCF (2018-2023)



Fonte: ICLEI (2025) e ICLEI adaptado de Ecofinance; ICLEI (2025) e SEEG (2024)

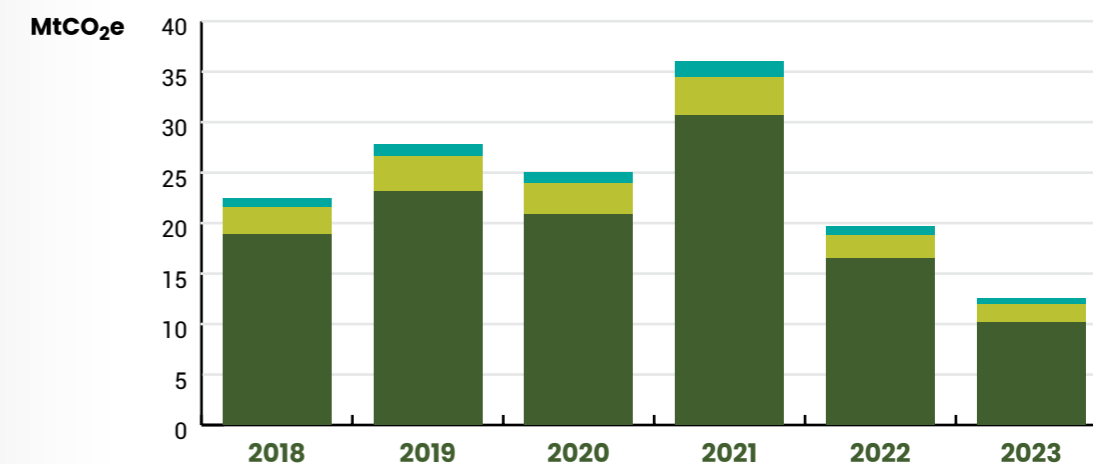
também tiveram queda de 36,6%, diminuindo de 2,7 para 1,7 MtCO₂e no mesmo período. Já os resíduos florestais, com 4% de participação, apresentaram uma redução de 41%, refletindo avanços em práticas de manejo ou uma menor geração de biomassa residual. A Figura 26 ilustra esse comportamento das categorias emissoras.

Dentro da categoria de Alterações de Uso da Terra, as emissões totais em 2018 somavam cerca de 18,9 MtCO₂e, atingiram o pico em 2021, com mais de 30,7 MtCO₂e, e encerraram 2023 em queda,

com 10,3 MtCO₂e. Essa trajetória resultou em uma redução acumulada de 45,7% nas emissões ao longo do período analisado.

Entre as atividades emissoras, o desmatamento foi responsável por 96% das emissões dessa categoria, acumulando mais de 115 MtCO₂e entre 2018 e 2023. Apesar de sua predominância, houve uma redução de 41,2% no intervalo analisado. O comportamento anual mostrou oscilações significativas, com aumento expressivo (74%) entre 2018 e 2021, seguido por uma queda de 66% entre 2021 e 2023.

Figura 26: Categorias emissoras em LULUCF entre 2018 e 2023



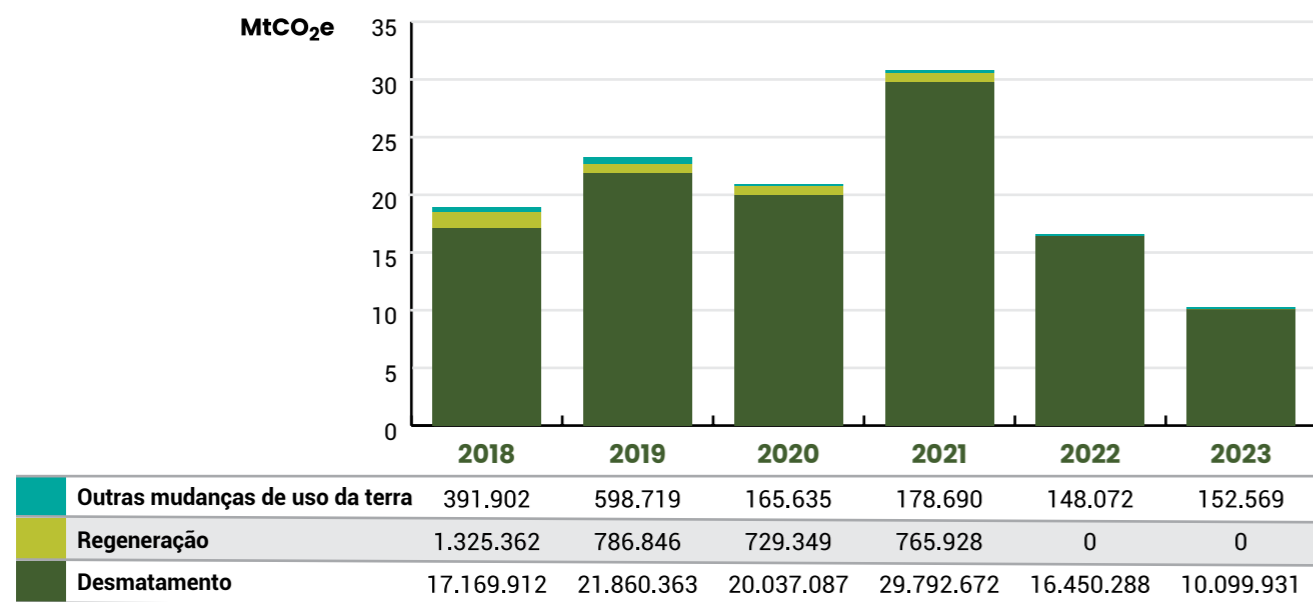
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Resíduos Florestais	847.704	1.089.379	997.495	1.504.606	814.665	499.926
Carbono Orgânico no solo	2.744.352	3.503.319	3.133.646	3.740.253	2.220.250	1.740.518
Alterações de uso da terra	18.887.176	23.245.928	20.932.071	30.737.290	16.598.360	10.252.500

Fonte: ICLEI, adaptado de SEEG (2024)

7. Uma floresta, por sua maior densidade de biomassa, geralmente possui maior capacidade de estoque de carbono em comparação a um campo nativo. O cálculo realizado pelo SEEG considera essa diferenciação, utilizando parâmetros que levam em conta os diferentes tipos de vegetação e biomas, conforme os mesmos valores adotados pelo Inventário Nacional. Assim, as avaliações das perdas de carbono refletem essas características específicas de cada tipo de vegetação, incluindo campos nativos e formações florestais.

6. As emissões de manejo de solos orgânicos estão presentes, mas não aparecem de forma significativa na Figura 24.

Figura 27: Emissões em Alterações de Uso da Terra entre 2018 e 2023



Fonte: ICLEI, adaptado de SEEG (2024)

Já as emissões associadas à regeneração⁸, resultantes da conversão de áreas não florestais em vegetação, cessaram completamente a partir de 2022, após quedas sucessivas desde 2018. Durante o período, a média anual dessa subcategoria foi de aproximadamente 601 mil tCO₂e, representando 3% das emissões totais na categoria de Alterações de Uso da Terra. Por fim, a subcategoria "outras mudanças de uso da terra", que concentrou apenas 1% das emissões, apresentou uma redução expressiva de 61,1% no período. A Figura 27 detalha o comportamento dessas atividades.

Observa-se que os três tipos de conversões que representaram mais de 70% das emissões por desmatamento no Brasil, de acordo com SEEG (2024) e MapBiomass (2024), também são os preponderantes no Rio Grande do Sul:

- Conversão de vegetação campestre para uso agropecuário (33% das emissões);
- Desmatamento de formação florestal para uso agropecuário (25%);
- Conversão de vegetação secundária para uso agropecuário (14%).

Essa distribuição indica que a maior parte das emissões por desmatamento está associada à expansão da produção agropecuária em detrimento de áreas naturais ou de vegetação secundária, reforçando a necessidade de abordagens integradas entre a gestão da produção sustentável e a conservação do solo e da vegetação para reverter essa tendência.

Transições ligadas a lavouras específicas, como soja, arroz e outras culturas temporárias, aparecem com 9%. Outros processos relevantes, embora com menor peso, incluem a conversão de floresta primária para silvicultura (9%), transição da floresta secundária para uso agropecuário (6%) e expansão urbana (0,08%).

Essa distribuição indica que a maior parte das emissões por desmatamento está associada à expansão agropecuária em áreas naturais ou de vegetação secundária, em especial sobre campos e formações florestais nativas. Ainda que existam dezenas de combinações específicas de mudança de uso de solo, apenas algumas poucas representam a maior parcela das emissões, como as apresentadas acima.

8. A regeneração de uma área apresenta emissão de GEE porque o estoque perdido, por um período, será maior que o estoque no início do crescimento da vegetação secundária. Dessa forma, não se compensa imediatamente a perda de carbono causada pelo desmatamento anterior. Enquanto o novo crescimento ainda é pequeno, ele armazena pouco carbono, e por isso, o balanço de carbono ainda é negativo, o que significa que há emissões associadas à regeneração.

Remoções

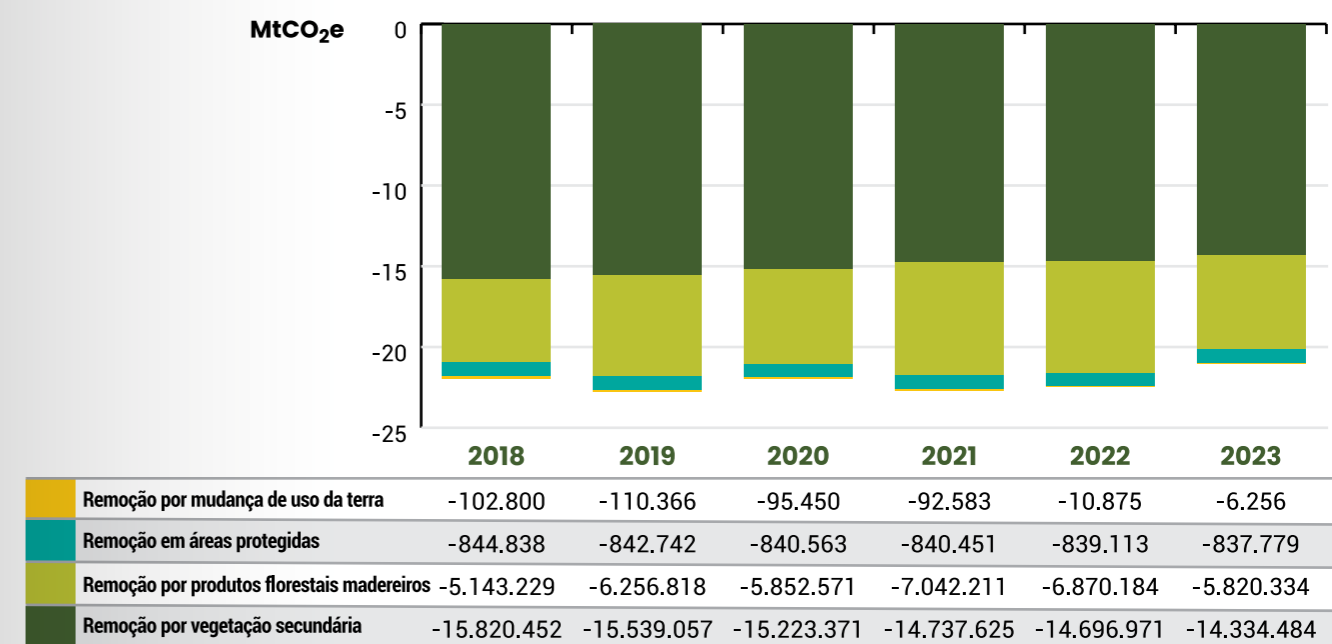
No período de 2018 a 2023, as remoções de GEE no setor LULUCF foram lideradas pela regeneração de vegetação secundária, responsável por 68% do total das remoções, equivalente a 90,3 MtCO₂e. Apesar de uma leve redução de 9,4% ao longo do período, a regeneração natural permaneceu como a principal responsável pela redução líquida de CO₂e.

Os produtos florestais madeireiros contribuíram com 27,9% das remoções, refletindo um crescimento de 13,2% no estoque de carbono, associado ao aumento de produtos de longa duração. As remoções em áreas protegidas, que representaram 3,8% do total, mantiveram-se estáveis, com uma discreta retração de 0,8%. Já a remoção por mudanças de uso da terra, com pequena representatividade (0,3%), sofreu a maior redução percentual (93,9%), saindo de -102,8 mil tCO₂e em 2018 para -6,2 mil tCO₂e em 2023. A Figura 28 ilustra a evolução destas categorias.

Considerando as emissões e remoções, em 2018, as emissões líquidas do setor LULUCF foram de aproximadamente 568 MtCO₂e, refletindo um equilíbrio próximo entre emissões e remoções. No ano seguinte, 2019, registrou-se um aumento expressivo de 796%, com as emissões subindo para cerca de 5,1 MtCO₂e, impulsionadas principalmente

pelas alterações no uso da terra, que cresceram de 18,8 para 23,2 MtCO₂e. Em 2020, as emissões sofreram uma redução de 40%, totalizando 3 MtCO₂e, em linha com a diminuição das emissões por mudanças no uso da terra, que caíram para 20,9 MtCO₂e. Contudo, em 2021, as emissões líquidas voltaram a crescer significativamente, alcançando 13,3 MtCO₂e (aumento de 335%), devido ao pico das emissões por alterações no uso da terra, que chegaram a 30,7 MtCO₂e.

A partir de 2022, observou-se uma mudança de cenário, com o setor convertendo-se em um sumidouro líquido de carbono, resultado de uma redução de 16,3 MtCO₂e nas emissões. Essa tendência de remoção líquida intensificou-se em 2023, quando as emissões líquidas atingiram -8,5 MtCO₂e, consequência da queda das emissões por mudança no uso da terra para 10,2 MtCO₂e. Esses dados evidenciam que as grandes variações anuais estão diretamente relacionadas tanto à redução nas categorias emissoras, associada à redução do desmatamento, ou seja, à menor conversão de formações florestais em áreas agrícolas ou pastagens (SEMA, 2024), quanto ao aumento das remoções promovidas pelos produtos florestais madeireiros (Ecofinance e ICLEI, 2025).

Figura 28: Remoções em LULUCF entre 2018 e 2023⁹

Fonte: ICLEI, adaptado de Ecofinance, ICLEI (2025) e SEEG (2024)

9. As remoções por mudança de uso da terra estão presentes, mas não aparecem de forma significativa na Figura 28.

4.1.3. Energia

O setor de Energia abrange as emissões associadas à produção, transformação, distribuição e consumo de diferentes fontes de energia, classificadas nas categorias de queima de combustíveis fósseis e emissões fugitivas. Esse setor configura-se como o segundo maior emissor de gases de efeito estufa (GEE) no Estado, registrando um total acumulado de 159 MtCO₂e ao longo do período analisado neste inventário.

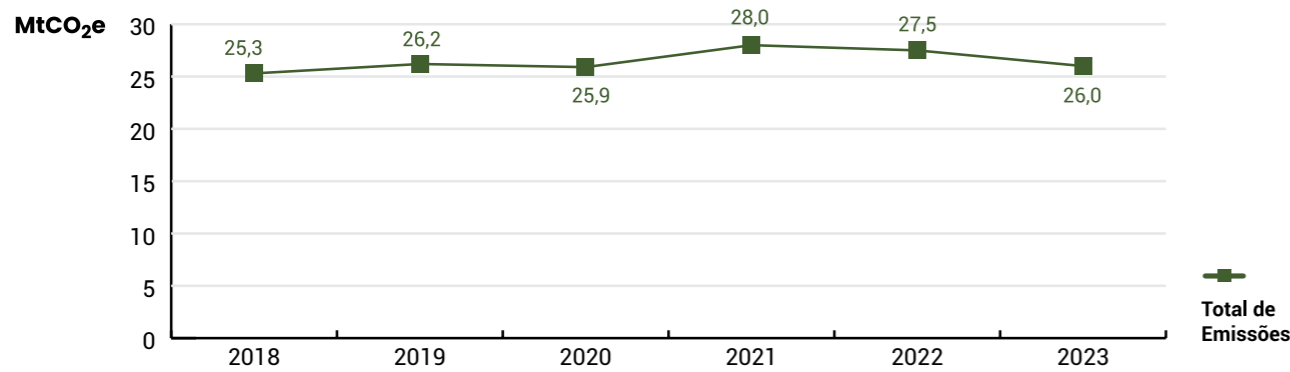
Com uma média anual de emissão de 26,5 MtCO₂e, o setor apresentou uma variação de 2,6% ao longo dos 6 anos avaliados. O ano de 2018 marcou o

menor nível de emissões do período, enquanto 2021 atingiu o pico, conforme ilustrado na Figura 29.

Em relação às principais categorias do setor, 93% das emissões estão relacionadas à queima de combustíveis fósseis, enquanto as emissões fugitivas correspondem a 7% do total, conforme mostrado nas Figuras 30 e 31.

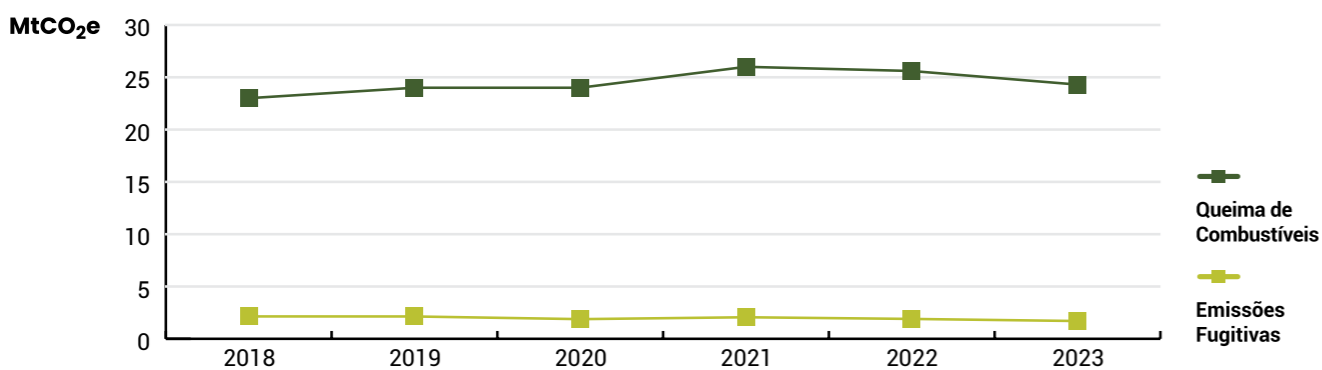
Nos tópicos seguintes, será detalhado o comportamento das emissões em cada um dos subsetores, oferecendo uma análise mais aprofundada sobre as atividades que compõem o setor de Energia.

Figura 29: Comportamento das emissões de Energia (2018-2023)



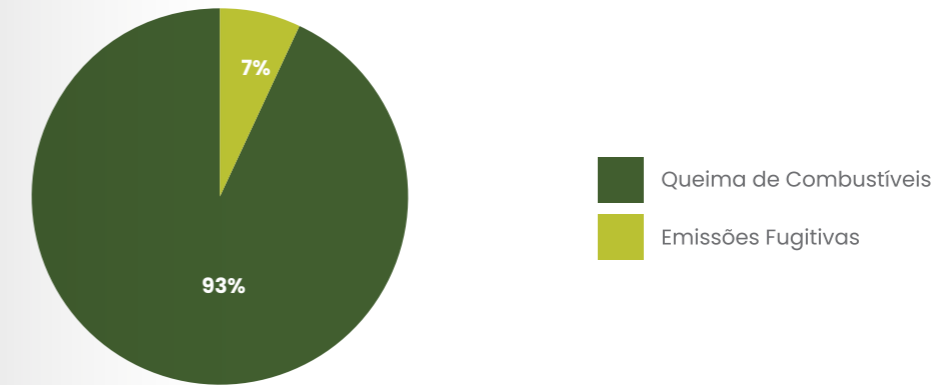
Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Figura 30: Emissões por subsetor em Energia entre 2018 e 2023



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Figura 31: Perfil de emissões em Energia



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Queima de Combustíveis Fósseis

No Estado, as emissões de GEE foram calculadas a partir de informações obtidas do Balanço Energético do Rio Grande do Sul para os anos de 2018 a 2023, que trouxe o consumo de fontes primárias e secundárias de energia. A Figura 32 ilustra os resultados gerais obtidos para o subsetor.

A Queima de Combustíveis Fósseis foi responsável pelo lançamento de 147,2 MtCO₂e na atmosfera em todo o período deste inventário, com contribuição de 23,2 MtCO₂e em 2018, apresentando aumento de 4% em 2019 (24 MtCO₂e). Em seguida, para o ano de 2020 (24 MtCO₂e), houve estagnação em relação ao ano anterior. Porém, em 2021, as emissões apresentaram crescimento de 8%, seguido por queda nos anos seguintes: -1% em 2022 e -5% em 2023.

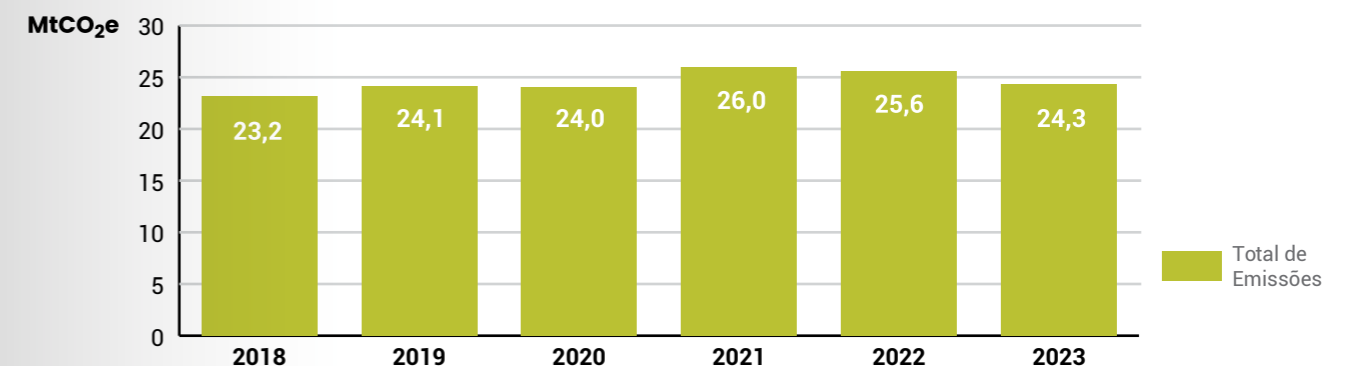
Analisando as categorias, Transportes representou 56% do total das emissões, cujas atividades serão melhor detalhadas no próximo tópico.

A categoria de Indústrias de Geração de Energia foi a segunda maior emissora no Estado, somando quase 28,7 MtCO₂e, o que corresponde a 19% do total. Esta categoria apresentou um crescimento de 10% no período, refletindo maior consumo energético ou alterações no perfil tecnológico e de combustíveis utilizados. Em terceiro lugar, destacam-se as Indústrias de Transformação, com 12% das emissões totais (16,9 MtCO₂e), embora tenham registrado retração de 4% entre 2018 e 2023.

A categoria Agricultura foi a quarta maior emissora, com 8% de participação e um leve crescimento de 4%, totalizando 11,6 MtCO₂e no período. O setor Residencial, com 5% das emissões (7,7 m MtCO₂e), também apresentou uma queda de 2%, possivelmente associada a mudanças no consumo energético ou no uso de fontes mais limpas. Já os setores Comercial e Público tiveram a menor contribuição, com 1%.

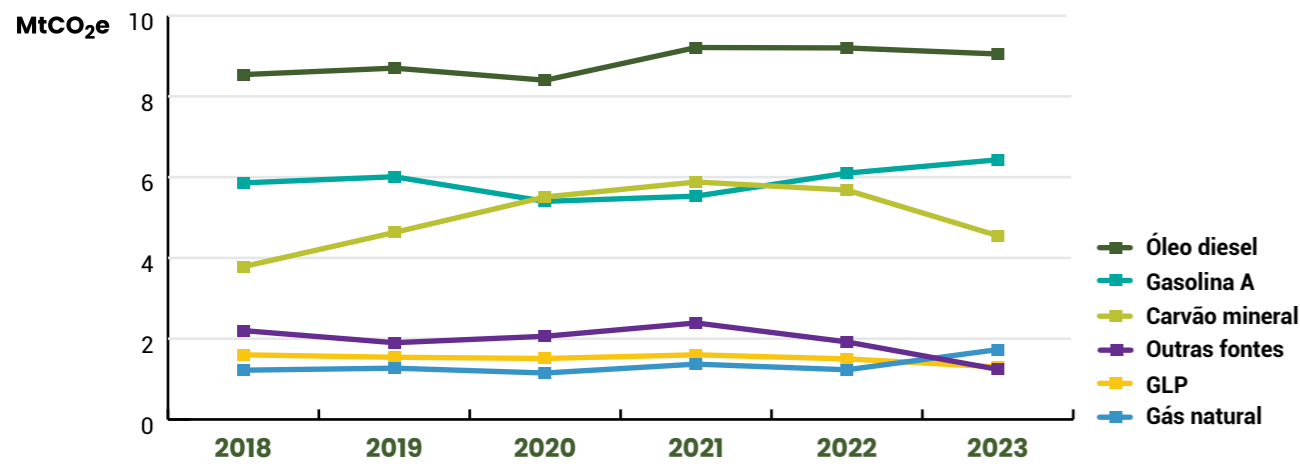
A partir da Figura 33 nota-se a contribuição de cada fonte energética que emite GEE.

Figura 32: Emissões da Queima de Combustíveis Fósseis entre 2018 e 2023



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Figura 33: Emissões por tipo de combustível entre 2018 e 2023¹⁰



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

A principal fonte emissora foi o óleo diesel, responsável por 36% das emissões totais, ou seja, 53,1 MtCO₂e no período. Essa fonte apresentou um aumento de 6% nas emissões, passando de 8,5 MtCO₂e em 2018 para 9 MtCO₂e em 2023, com picos nos anos de 2021 e 2022.

A gasolina automotiva ficou em segundo lugar, com 24%, totalizando 35,3 MtCO₂e, e crescimento de 10% na série. O carvão mineral, com 20% de participação, emitiu 30 MtCO₂e no período dos 6 anos de análise e aparece como a terceira fonte energética mais emissora no setor.

O conjunto denominado "outras fontes" representa 8% das emissões totais (11,7 MtCO₂e), mas com uma queda de 44% ao longo do período. Essa diminuição pode estar ligada a mudanças no tipo de insumos usados nas atividades comerciais e industriais ou à adoção de tecnologias mais limpas.

O GLP contribuiu com 6% das emissões, com uma emissão total de 9 MtCO₂e. Apesar de ligeiras variações anuais, como queda de 13% entre 2022 e 2023, houve crescimento discreto de 5% entre 2018 e 2023.

Por fim, o gás natural foi responsável por 5% das emissões totais, com cerca de 7,9 MtCO₂e e uma expressiva alta de 41% entre 2018 e 2023. Esse crescimento sugere que o gás natural tem ganhado espaço como alternativa ao carvão e ao óleo diesel, embora continue sendo uma fonte fóssil, ainda que com menor intensidade de emissão de GEE.

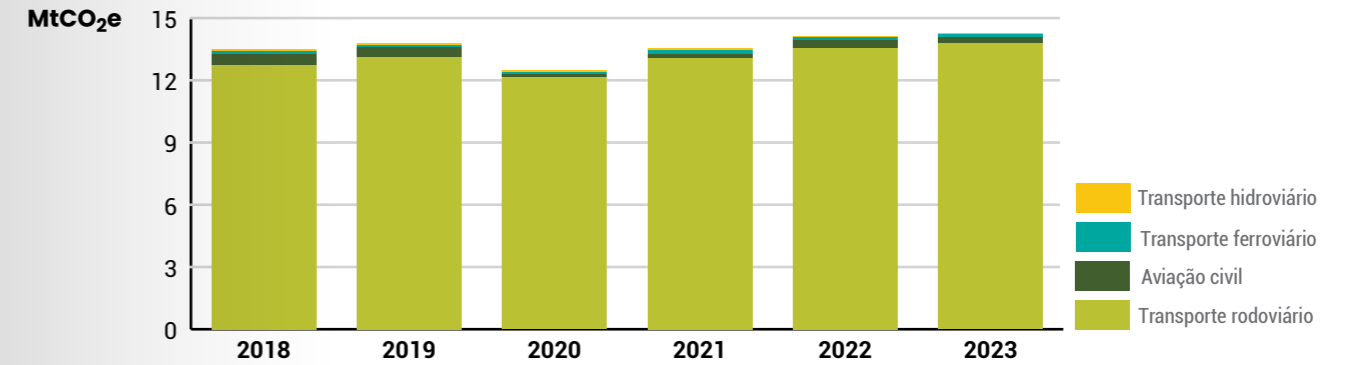
Transportes

A categoria de Transportes, que envolve os modais rodoviário, ferroviário, hidroviário e aéreo, foi responsável pelo lançamento de 81 MtCO₂e na atmosfera em todo o período deste inventário, com contribuição de 13,3 MtCO₂e em 2018, apresentando aumento de 2,4% em 2019 (13,6 MtCO₂e). Em seguida, para o ano de 2020 (12,3 MtCO₂e), houve queda de 9,45% em relação ao ano anterior. Por ter sido o primeiro ano da pandemia de COVID-19, pode-se considerar que a redução possivelmente estava atrelada à menor circulação de pessoas. Porém, com a retomada das atividades, de 2021 a 2023, as emissões relacionadas à Transporte começaram a apresentar crescimento ano a ano, acumulando 14% a mais de emissões se comparado com o total de 2020: 13,3 MtCO₂e em 2021, 14 MtCO₂e em 2022 e encerrou-se 2023 com 14,1 MtCO₂e.

Dos modais de transporte, as emissões no Rio Grande do Sul vêm predominantemente do transporte rodoviário, com 96,8%, e, em seguida, tem-se a aviação civil com 2,6% de emissões. Com participações menores, tem-se o transporte ferroviário com 0,48% e o transporte hidroviário com 0,09%, conforme a Figura 34, que traz o comportamento de cada modal ano a ano.

10. A linha "Outras Fontes" refere-se à soma das emissões com menor contribuição anual, que são de: álcool etílico anidro, álcool etílico hidratado, biodiesel, carvão vegetal, casca de arroz, lenha, lixívia, óleo combustível, outros derivados energéticos do petróleo, produtos da cana-de-açúcar, querosene iluminante e querosene de aviação.

Figura 34: Emissões por modal de transporte (2018-2023)



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

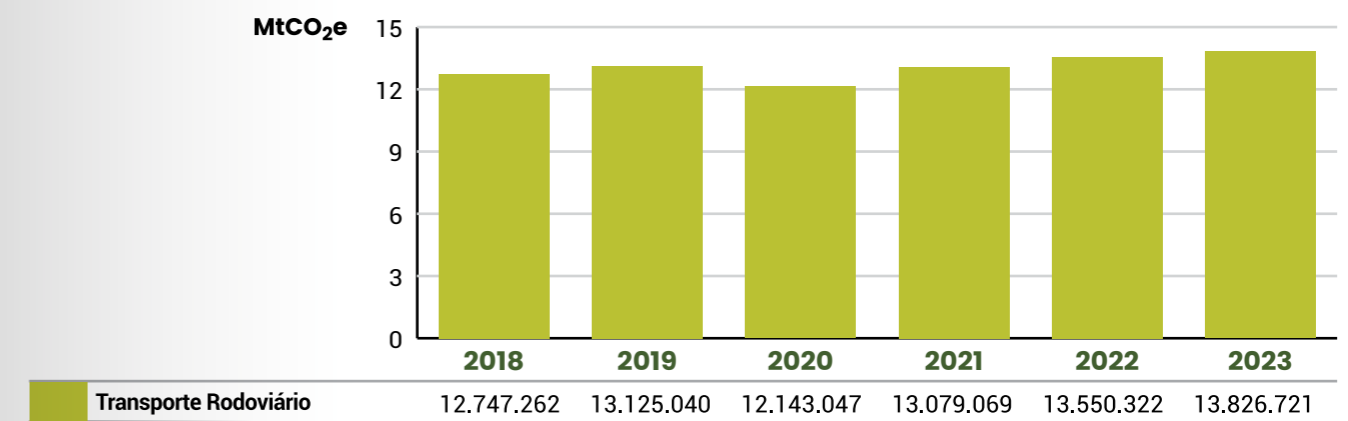
De acordo com o Detran RS (s.d), em 2023, a frota de veículos terrestres no Estado do Rio Grande do Sul totalizou 7.637.859 unidades. Os automóveis compuseram a maior parte da frota registrada, representando 59,05% do total. Em seguida, destacaram-se as motocicletas, motonetas e ciclomotores, que corresponderam a 16,87%, enquanto utilitários, caminhonetes e camionetas responderam por 14,47%. Caminhões e caminhões tratores somaram 4,33% da frota, e os reboques, 4,21%. Já os ônibus e micro-ônibus representaram 0,79% dos registros, os tratores, 0,12%, e as demais categorias totalizaram 0,15%.

O modal rodoviário concentrou a quase totalidade da demanda de transporte (97,72%), e os demais modais – ferroviário, aéreo e hidroviário – tiveram participações bem mais modestas, somando juntos menos de 3%.

A emissão do transporte rodoviário no Rio Grande do Sul, de 2018 a 2023, apresentou um total acumulado de 78,4 MtCO₂e, com uma média anual de aproximadamente 13 MtCO₂e e variação total de 8%. A série histórica mostra redução de 7,5% em 2020, atribuída à pandemia, seguida por uma recuperação de mais 14,4% no período de 2021 a 2023. O ano de 2023 foi o mais emissor, com 13,8 MtCO₂e, um aumento de 8,5% em relação a 2018, conforme Figura 35.

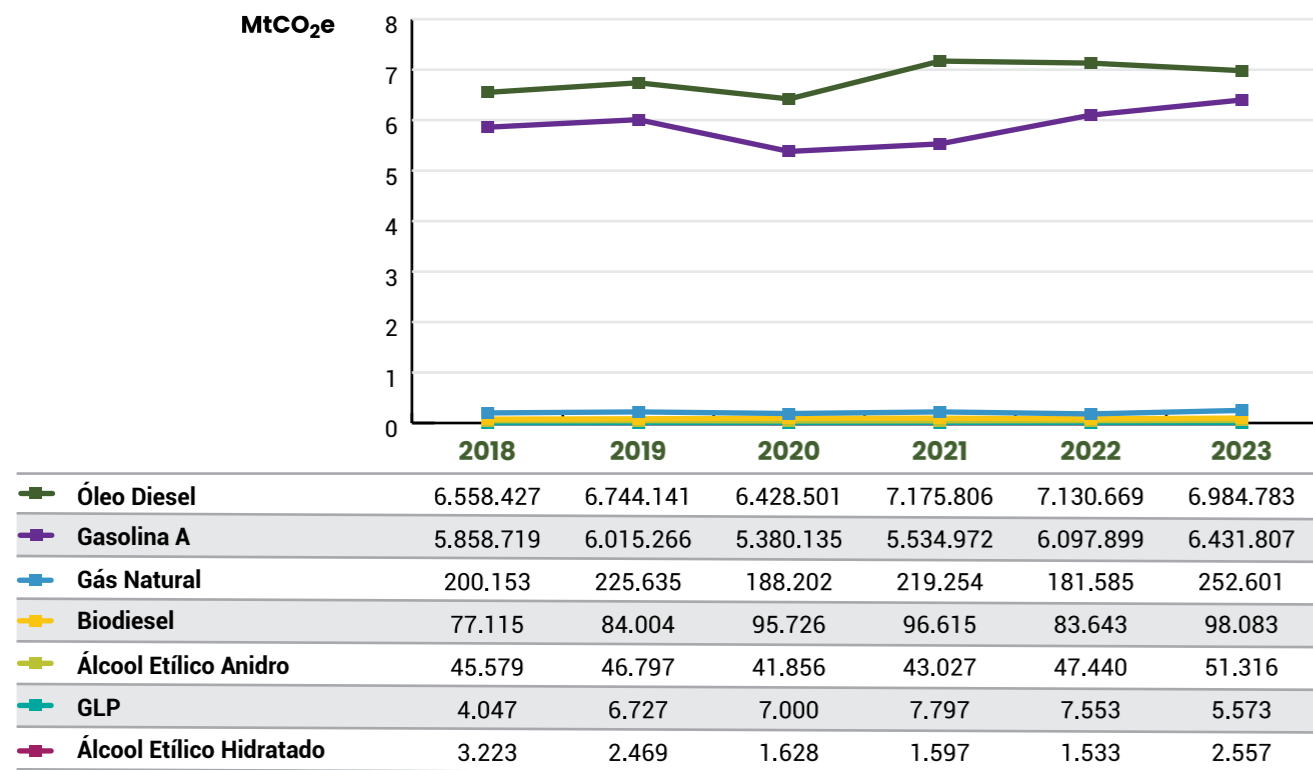
Dentre as fontes energéticas utilizadas, o diesel e a gasolina A dominam, respondendo por aproximadamente 97% das emissões do setor, conforme Figura 36. Além disso, as emissões de CO₂ que vem dos biocombustíveis são as mesmas que foram absorvidas durante o crescimento da biomassa. Com isso, as emissões de CO₂ oriundas desses combustíveis são consideradas neutras, não contribuindo para a intensificação do efeito estufa.

Figura 35: Emissões por transporte rodoviário no Rio Grande do Sul (2018-2023)



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Figura 36: Emissões de fontes energéticas no transporte rodoviário (2018-2023)¹¹



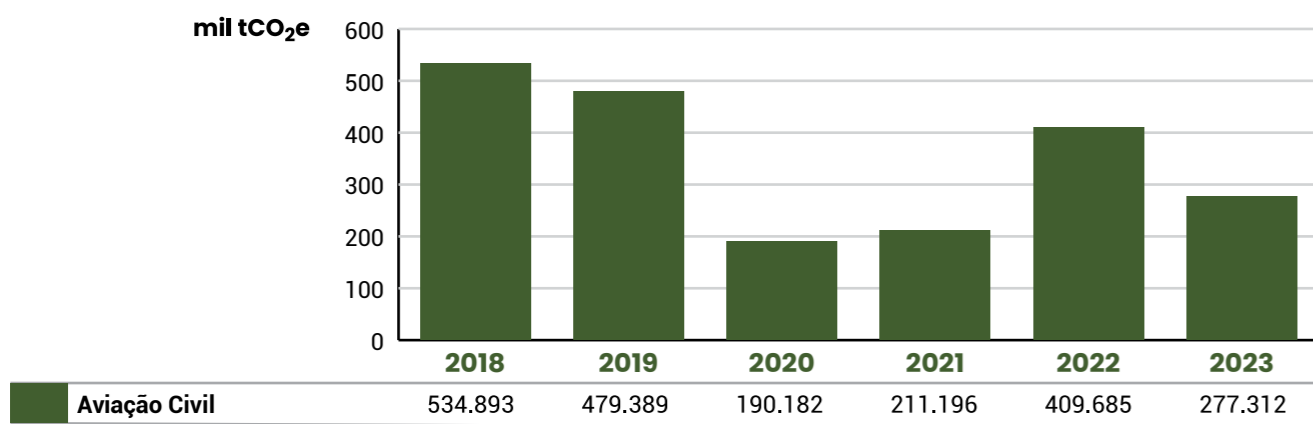
Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

A aviação civil, que representa 2,6% de emissões das Fontes Móveis, emitiu aproximadamente 2,1 MtCO₂e entre 2018 e 2023. Ao longo desse período, as emissões apresentaram uma queda significativa de 48%, passando de 534,9 mil tCO₂e em 2018 para 277,3 mil tCO₂e em 2023. A redução mais acentuada ocorreu em 2020, devido à pandemia de COVID-19, quando as emissões despencaram para 190,1 mil tCO₂e, o menor valor da série. Embora tenha havido uma recuperação parcial nos anos seguintes, os

níveis de emissões permaneceram abaixo dos registrados antes da pandemia, como podemos analisar pela Figura 37.

As emissões estimadas foram quase todas vindas do querosene de aviação, responsável por mais de 99,9% das emissões desta categoria. Outras fontes, como óleo diesel, biodiesel e GLP, tiveram participação insignificante, que somam 0,02% do total, conforme é possível observar na Figura 38.

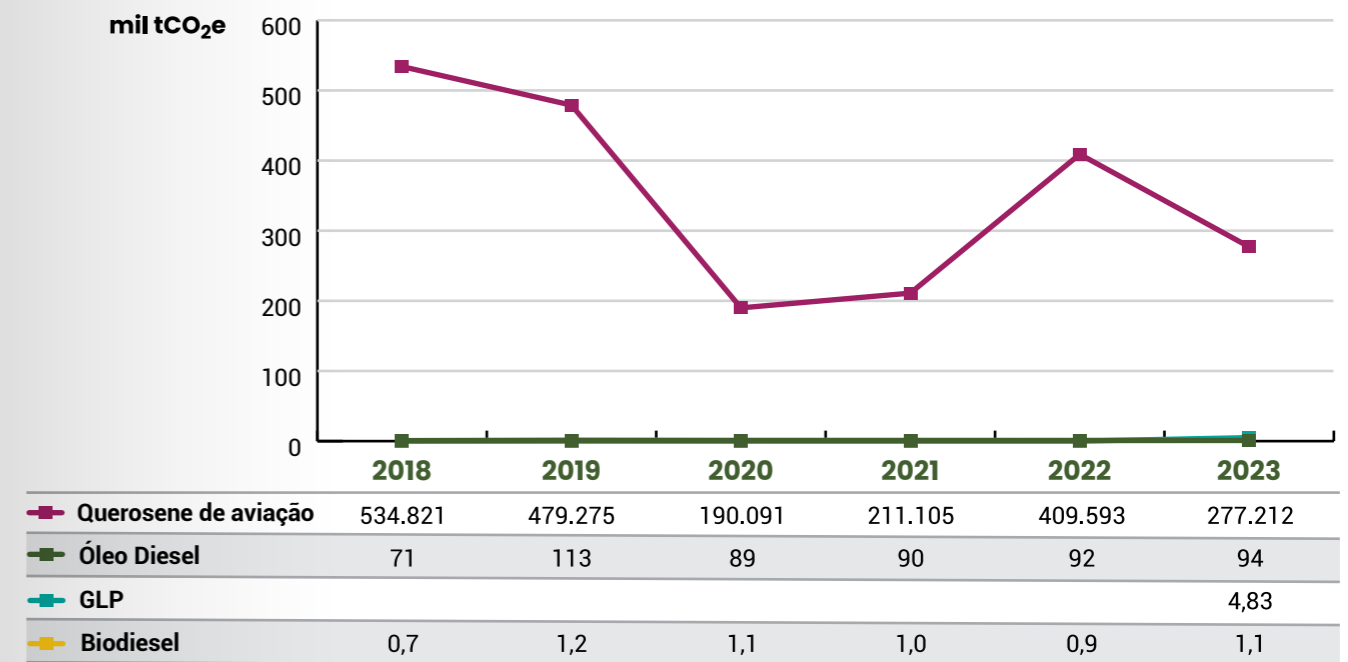
Figura 37: Emissões da aviação civil no Rio Grande do Sul (2018-2023)



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

11. Na Figura 36 é possível notar emissão expressiva de óleo diesel e gasolina, enquanto as demais fontes, apesar de presentes, contribuem menos e por isso não aparecem na imagem.

Figura 38: Emissões de fontes energéticas na aviação civil (2018-2023)¹²

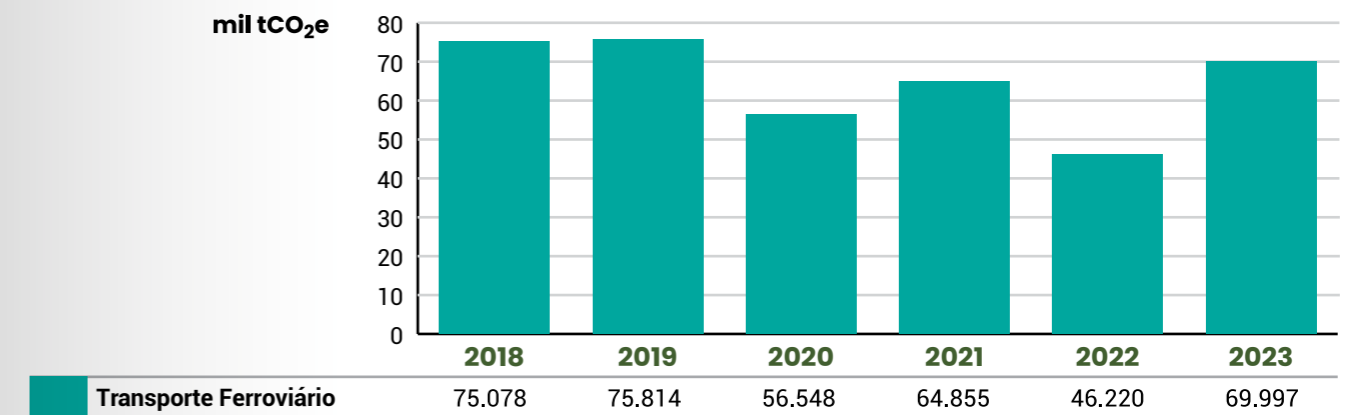


Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Quanto ao transporte ferroviário, este emitiu, entre 2018 e 2023, um total de 388,5 mil tCO₂e, com uma média anual de 64,7 mil tCO₂e. Representando apenas 0,48% das emissões totais do setor de transportes no estado, ao longo do período, suas emissões variaram de forma moderada, com um pico em 2019 (75,8 mil toneladas) e o menor valor em 2022 (46,2 mil toneladas). No comparativo entre 2018 e 2023, houve uma redução de cerca de 7% nas emissões, conforme Figura 39.

Por meio do Figura 40, vê-se que as emissões do transporte ferroviário foram praticamente todas provenientes do uso de óleo diesel, que respondeu por 98,9% do total, com 384,4 mil tCO₂e. O uso de biodiesel foi residual, contribuindo com apenas 1,1% das emissões, o equivalente a 4.112,59 tCO₂e no período. Esses dados confirmam a forte dependência do modal ferroviário estadual em relação ao diesel, apesar de seu impacto ser pequeno no conjunto de transportes.

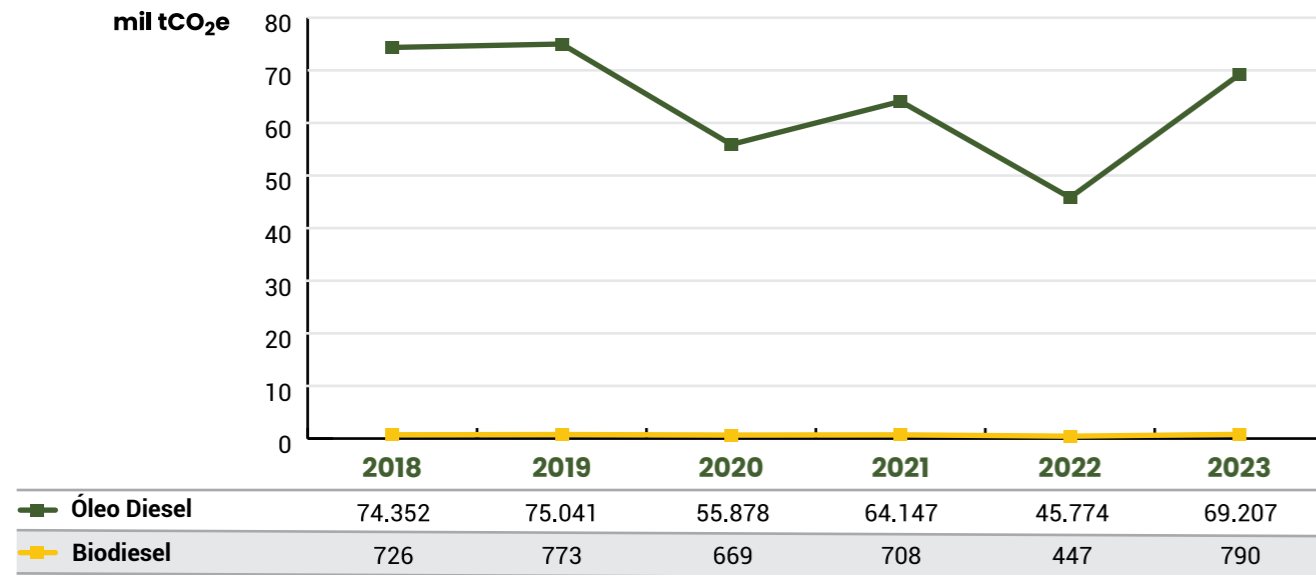
Figura 39: Emissões de transporte ferroviário no Rio Grande do Sul (2018-2023)



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

12. Na Figura 38 há predominância da emissão de querosene de aviação enquanto a outras fontes, apesar de presentes, não aparecem devido a seu baixo valor total de emissão.

Figura 40: Emissões de fontes energéticas no transporte ferroviário (2018-2023)

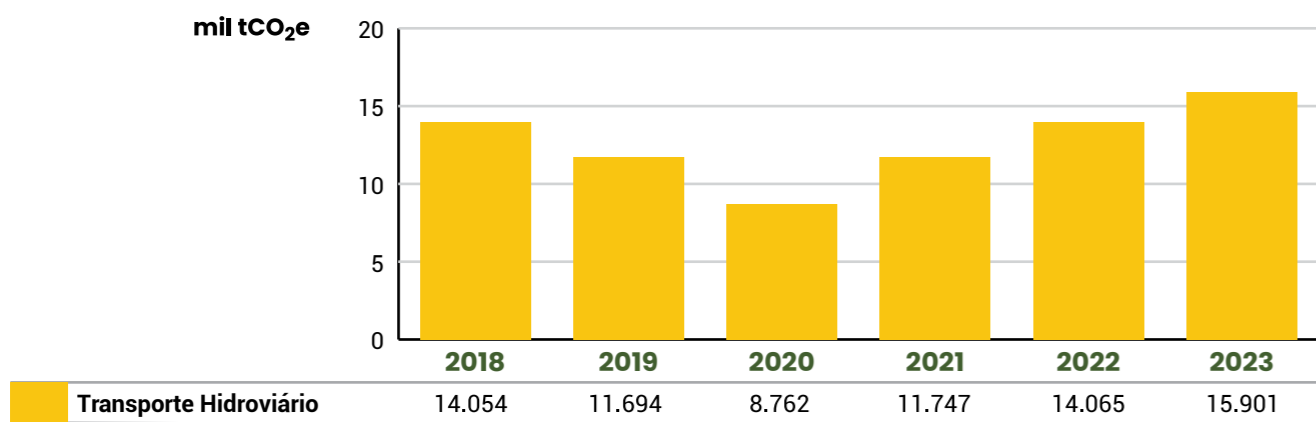


Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Por fim, em relação às emissões do transporte hidroviário, foram emitidas um total de 76,2 mil tCO₂e, o que representa apenas 0,09% das emissões de transporte no Estado. Com uma média anual de aproximadamente 13 mil tCO₂e, este modal apresenta o menor impacto entre todos os analisados. Assim como o transporte rodoviário, o transporte hidroviário registrou um crescimento nas emissões ao longo do período deste inventário, passando de 14 mil tCO₂e em 2018 para quase 16 mil tCO₂e em 2023, o que equivale a 13% de variação. Por meio da Figura 41, verifica-se o comportamento de emissões desta categoria.

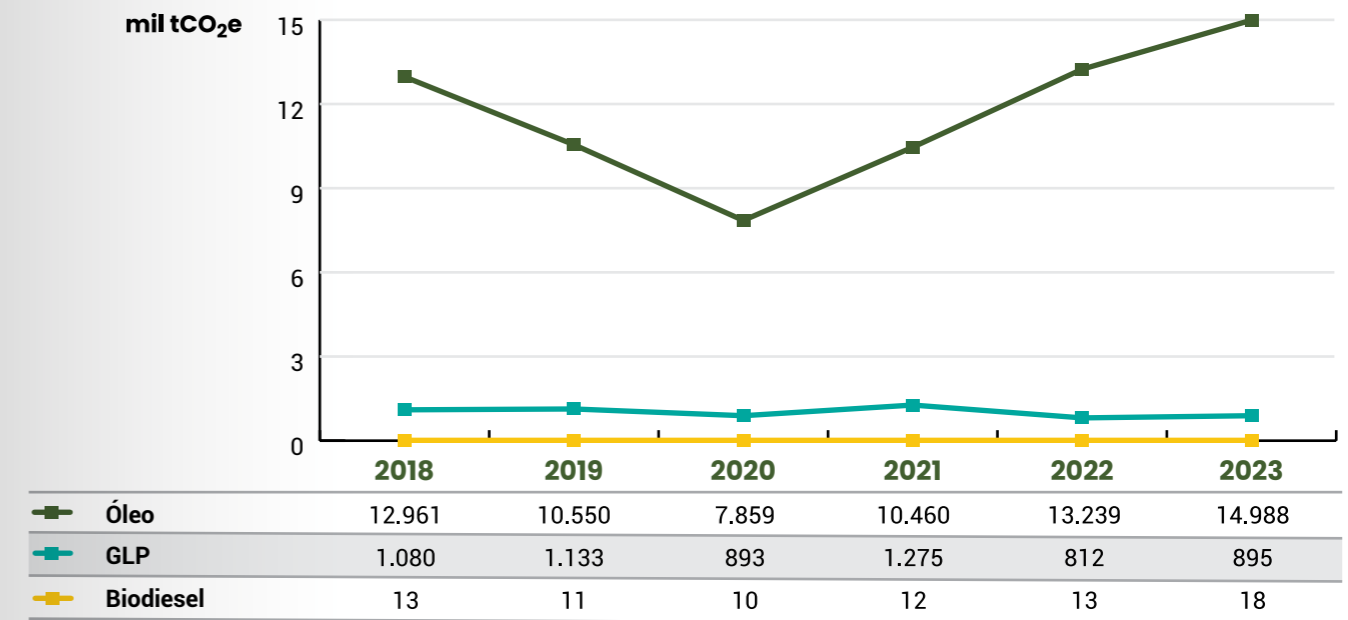
As emissões do transporte hidroviário no Rio Grande do Sul entre 2018 e 2023 foram majoritariamente provenientes do uso de óleo diesel, responsável por 91,9% do total, o que equivale a cerca de 70 mil tCO₂e. O GLP aparece como segunda fonte mais utilizada, representando 8% das emissões, ou 6 mil tCO₂e no período. Já o uso de biodiesel foi praticamente simbólico, com apenas 76,83 tCO₂e, o que corresponde a 0,1% das emissões totais do setor (Figura 42).

Figura 41: Emissões de transporte hidroviário no Rio Grande do Sul (2018-2023)



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Figura 42: Emissões de fontes energéticas no transporte hidroviário (2018-2023)



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Emissões Fugitivas

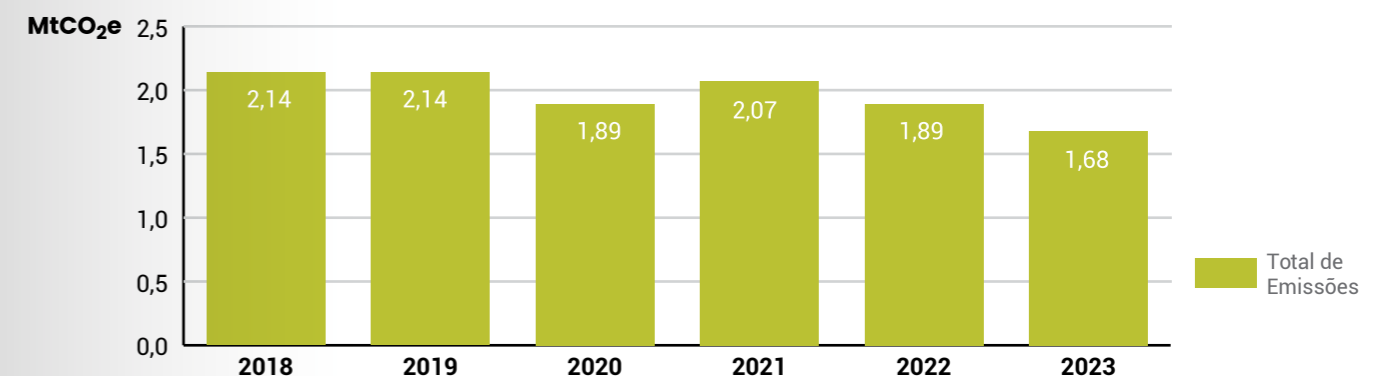
As emissões fugitivas de CO₂e em Energia somaram 11,8 MtCO₂e entre 2018 e 2023, com uma média anual de aproximadamente 2 MtCO₂e, conforme a Figura 43.

Entendendo que estas emissões vêm de processos energéticos de atividades das Indústrias de Energia no Estado, tem-se que as emissões fugitivas de refino de petróleo foram a mais significativas, representando 93% do total no período. Suas emissões caíram de 2,03 MtCO₂e em 2018 para 1,55 MtCO₂e em 2023, uma redução de 23% ao longo dos seis anos.

Já as emissões fugitivas associadas à produção de carvão mineral, apesar de representarem apenas 7% das emissões fugitivas, mostraram crescimento de 14% no período, passando de 111,9 mil tCO₂e em 2018 para 127 mil tCO₂e em 2023, com pico em 2021 (181 mil tCO₂e), de acordo com a Figura 44.

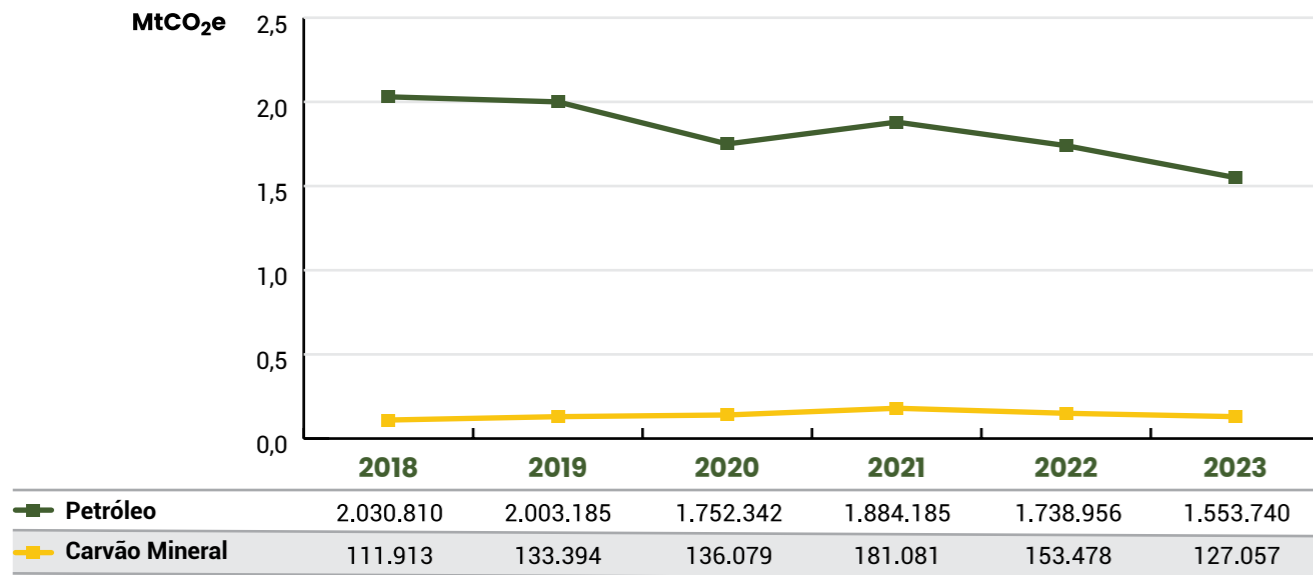
No geral, as emissões fugitivas apresentaram uma tendência de queda de 22% entre 2018 e 2023. Essa redução é impulsionada principalmente pela desaceleração nas emissões fugitivas do refino de petróleo. Apesar da contribuição menor de emissões fugitivas pela produção de carvão mineral, seu comportamento ascendente no período exige atenção ao se pensar na descarbonização da matriz energética.

Figura 43: Emissões por categoria de Emissões Fugitivas (2018-2023)



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Figura 44: Emissões fugitivas por tipo de fonte energética entre 2018 e 2023



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

4.1.4. Resíduos

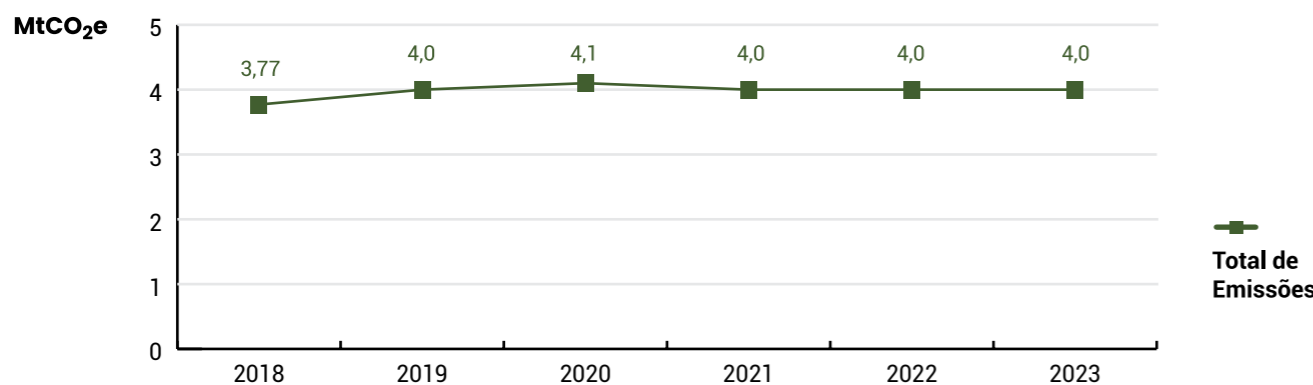
Para Resíduos são contabilizadas as emissões de gases de efeito estufa relacionadas com o tratamento de resíduos sólidos e efluentes líquidos, ou seja, a partir da degradação da matéria orgânica e outros componentes presentes nos resíduos. As atividades fontes estão incorporadas nos seguintes subsetores: disposição de resíduos sólidos, tratamento biológico, incineração, queima de resíduos a céu aberto e tratamento e despejo de águas residuárias domésticas e industriais.

No Rio Grande do Sul, as emissões em Resíduos apresentaram 3,7 MtCO₂e em 2018 e 3,9 MtCO₂e

em 2023, apresentando um crescimento de 5% nas emissões, conforme as Figuras 45 e 46. Esse setor é responsável, em média, por 5% das emissões totais no Estado.

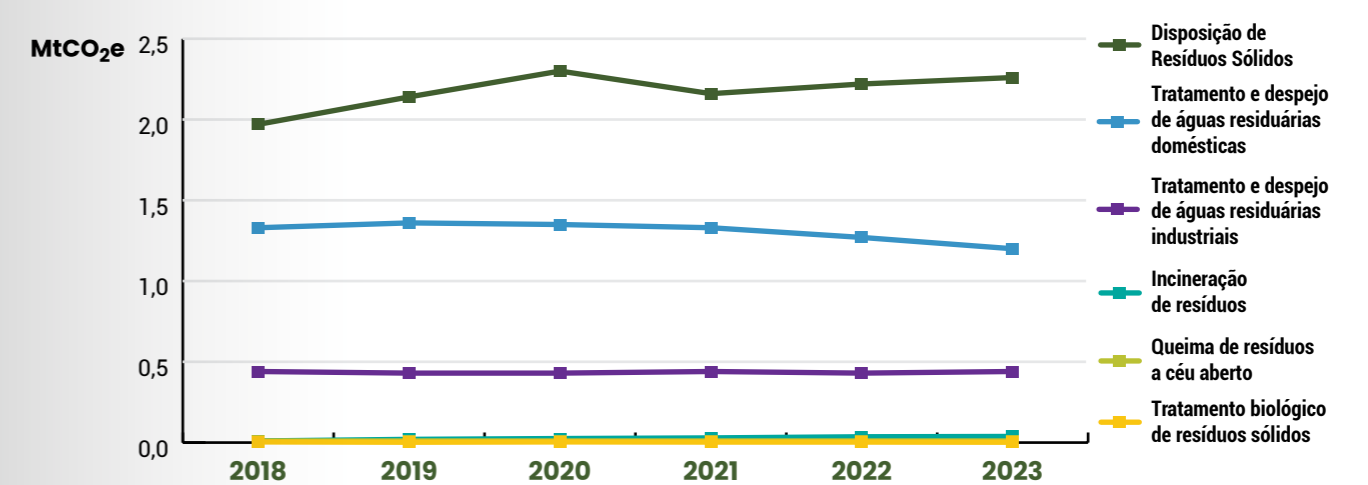
As emissões do Estado são principalmente oriundas da disposição final de resíduos sólidos, que representam aproximadamente 55% do total na série analisada, e em segundo lugar, figuram as águas residuárias domésticas, com contribuição de quase 33% das emissões no setor. Em terceiro lugar está o tratamento e despejo de águas residuárias industriais, com 11%.

Figura 45: Comportamento das emissões de Resíduos (2018-2023)



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Figura 46: Emissões de Resíduos por categoria entre 2018 e 2023¹³



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

As categorias de incineração, queima a céu aberto e tratamento biológico de resíduos sólidos dispõem de contribuições pouco significativas, sendo 0,8%, 0,4% e 0,1%, respectivamente¹⁴. A partir da Figura 47 demonstramos o comportamento médio de emissões em Resíduos por categoria.

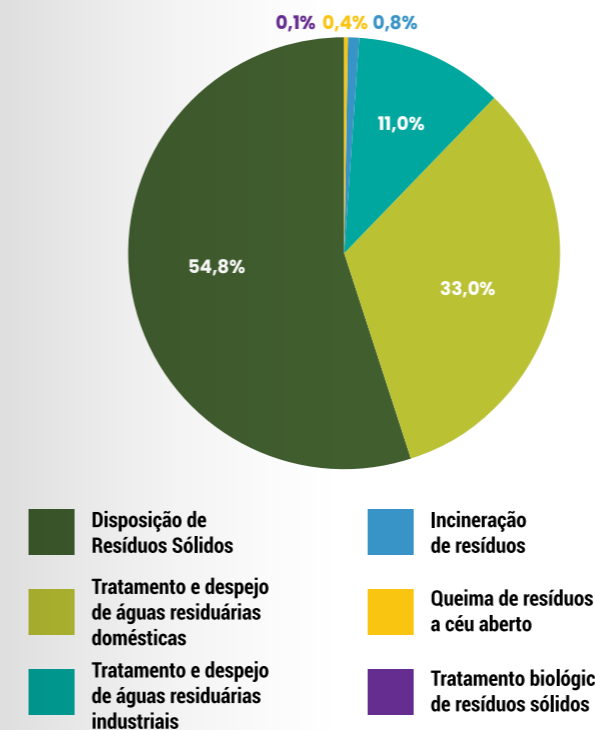
Disposição final de resíduos sólidos

As emissões oriundas pela disposição final dos resíduos sólidos em aterros sanitários, controlados ou lixões são as mais significativas no setor, atingindo a média de 54,84% das emissões no período entre 2018 e 2023, totalizando 13 MtCO₂e emitidas. A baixa participação da queima a céu aberto, como apontado anteriormente, pode indicar altas taxas de coleta de resíduos no Estado.

Destaca-se que, no ano de 2023, 99,31% dos resíduos coletados foram dispostos de forma ambientalmente adequada em aterros sanitários (SINISA, 2025b), sendo que este tipo de disposição corresponde à média de 93,4% das emissões. Para o período de 2018 a 2023, houve variação de 19% de aumento das emissões, o que indica a possibilidade de maior disposição feita em aterros sanitários e a queda de disposição em aterros controlados e lixões.

Já a disposição em aterros controlados ou lixões, que por sua vez é uma prática considerada ambientalmente inadequada, apresentou queda de 30% das emissões no período de 2018-2023 e representou 6,6% do total da categoria, como se observa na Figura 48.

Figura 47: Perfil de emissões em Resíduos

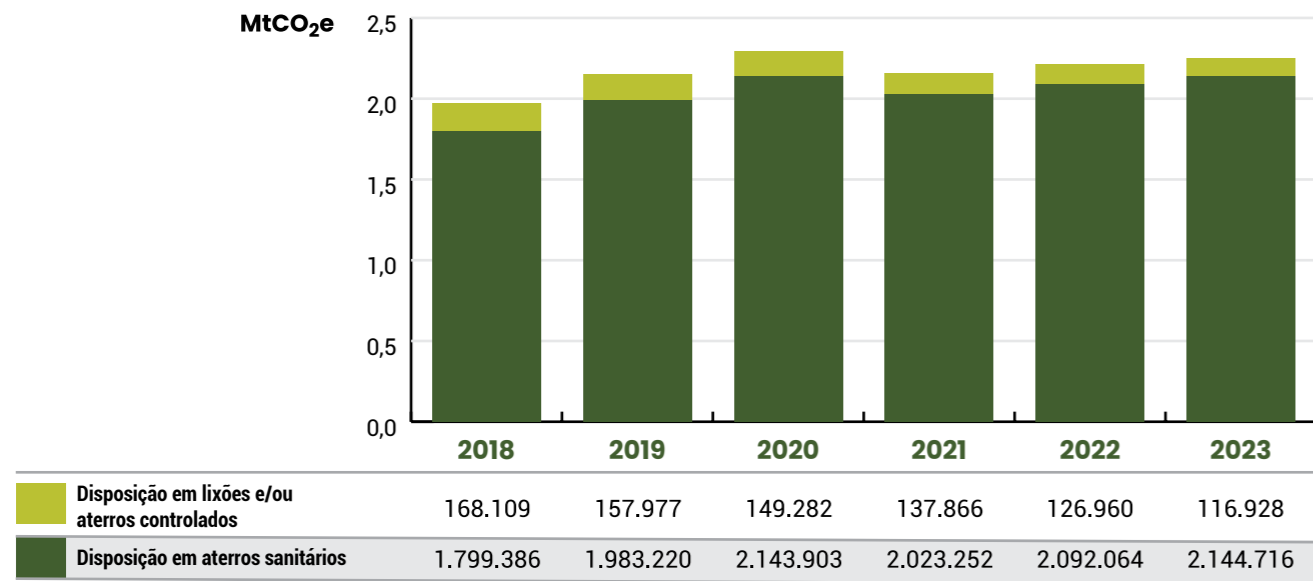


Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

13. As emissões de incineração, queima a céu aberto de resíduos sólidos e tratamento biológico estão presentes, mas são baixas e por isso não aparecem de forma significativa nas Figuras 45 e 46.

14. Conforme apontado no Anexo I, as fontes de dados foram SNIS (2023) e SINISA (2025a, 2025b, 2025c) para tratamento biológico de resíduos sólidos e compostagem; FEPAM (2025) para a quantidade de resíduos de serviços de saúde encaminhados para a incineração; e PNAD Contínua (IBGE, 2024b) para a fração da população que queima seus resíduos a céu aberto.

Figura 48: Emissões por disposição final no Rio Grande do Sul (2018-2023)



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

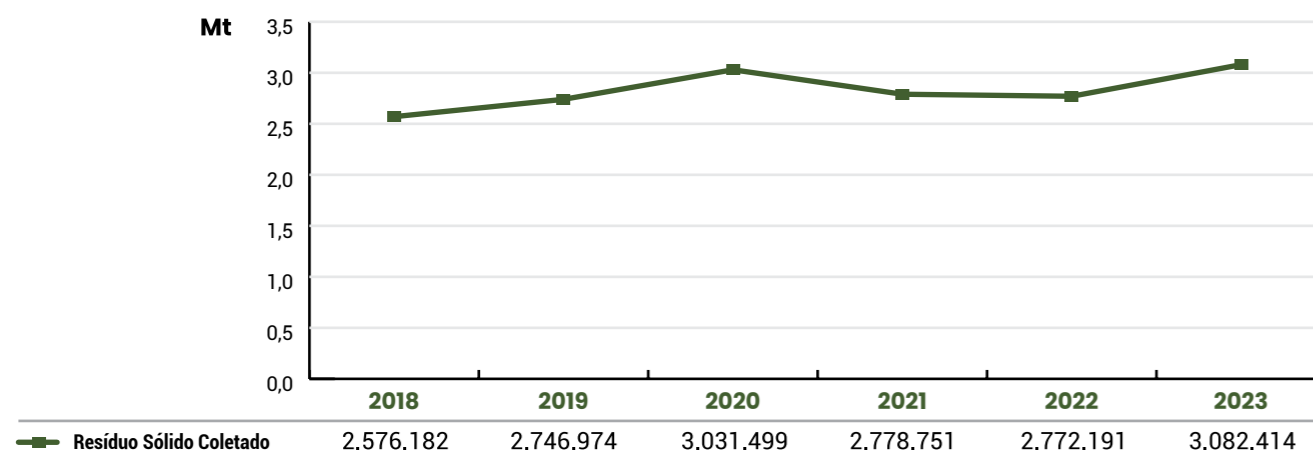
Junto aos dados de emissão, tem-se a Figura 49, em que é possível notar o quanto de massa de resíduos sólidos foi coletada no Estado, com aumento de 20% nos 6 anos analisados, começando em 2018 com 2,58 Mt de resíduos coletados em 41 locais de disposição final no Estado¹⁵ e terminando 2023 com 3,08 Mt coletadas em 51 locais de disposição final¹⁶.

No Estado verificou-se a recuperação de metano (CH₄) em aterros sanitários que estão inscritos no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL, ou CDM em inglês - Clean Development Mechanism), uma importante medida de mitigação no setor de resíduos. Com o aproveitamento do biogás de aterro,

evita-se que o metano seja diretamente lançado na atmosfera.

No Estado do Rio Grande do Sul, a recuperação de metano se destaca pelo reaproveitamento do biogás nas unidades Central de Resíduos do Recreio, em Minas de Leão; Indústria de Tratamento e Valorização de Resíduos de São Leopoldo; Aterro Sanitário do Rio Grande; e Central de Tratamento de Resíduos da Caturrita, em Santa Maria (UNFCCC, s.d.). Nessas quatro localidades, a recuperação de metano começou em 16,5 mil tCO₂e em 2018, atingindo a marca de recuperação de 27 mil tCO₂e em 2023, conforme Figura 50 e Figura 51.

Figura 49: Resíduos coletados no Rio Grande do Sul (2018-2023)

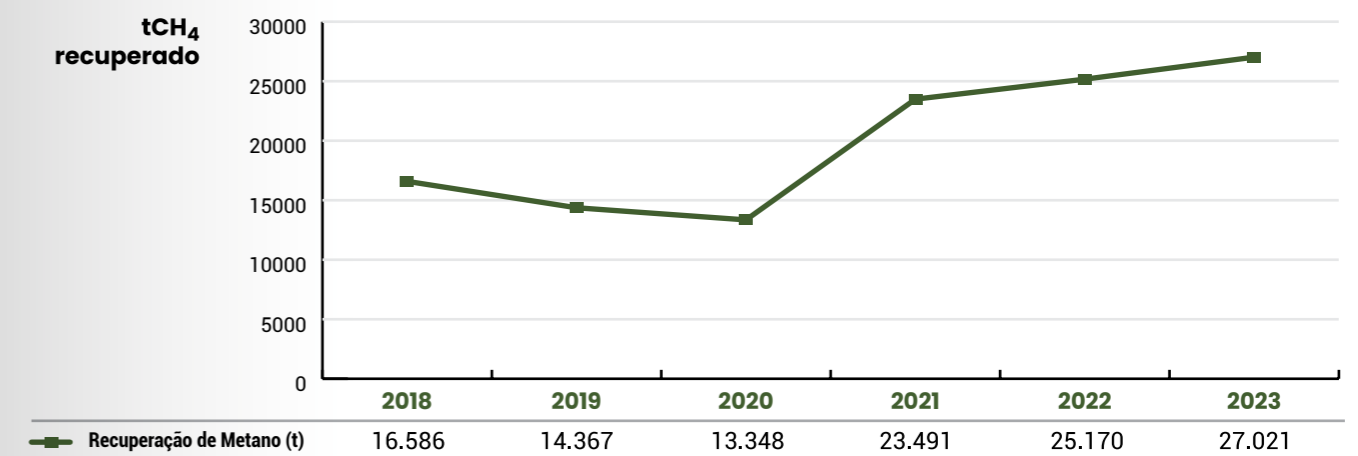


Fonte: Adaptado de SNIS, 2023; SINISA, 2025b.

15. Segundo o SNIS (2023), em 2018, existiam 5 aterros controlados, 33 aterros sanitários e 3 lixões em funcionamento.

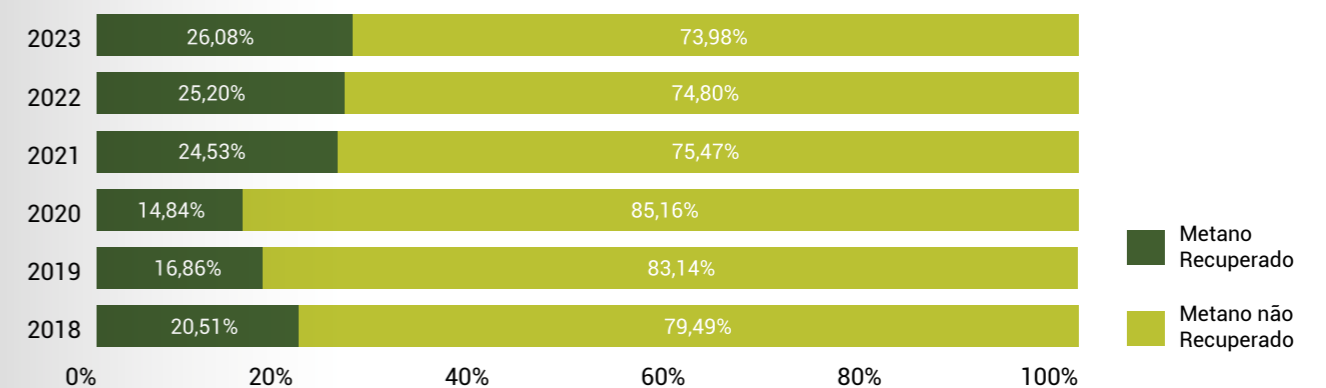
16. Em 2023, de acordo com o SINISA (2025b), existiam 7 aterros controlados, 30 aterros sanitários e 14 lixões em funcionamento.

Figura 50: Toneladas de metano recuperado (2018-2023)



Fonte: Adaptado da UNFCCC, s.d.

Figura 51: Fração de metano recuperado e não recuperado (2018-2023)



Fonte: Adaptado da UNFCCC, s.d.

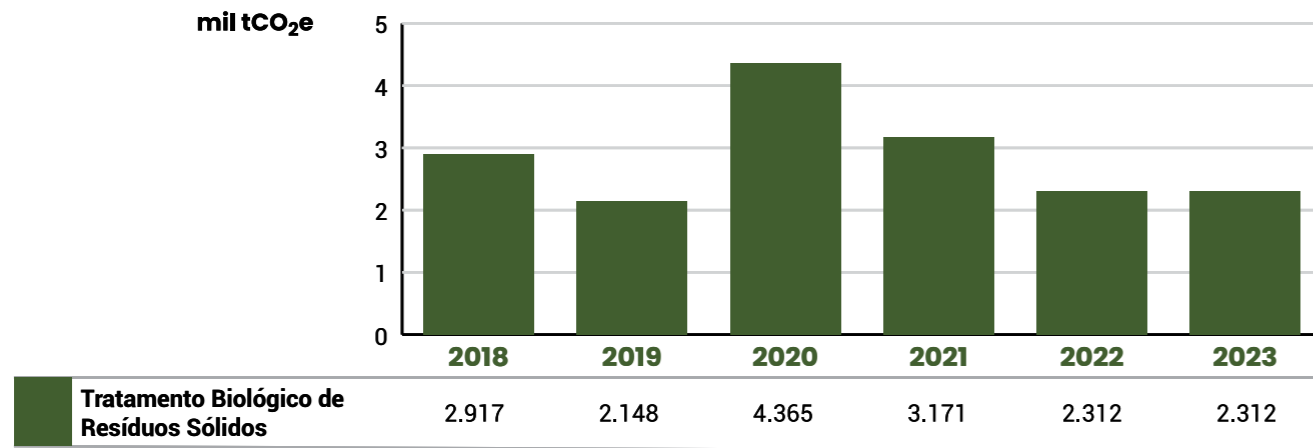
Tratamento biológico de resíduos sólidos

É uma categoria com pouca representatividade no Estado e inclui emissões de GEE pelo tratamento de resíduos orgânicos por meio de rotas biológicas como compostagem e digestão anaeróbica. Entre 2018 a 2023 correspondeu a somente 0,1% do total de emissões do setor de Resíduos e sofreu redução de 21% no período, de acordo com a Figura 52.

Incineração e queima a céu aberto

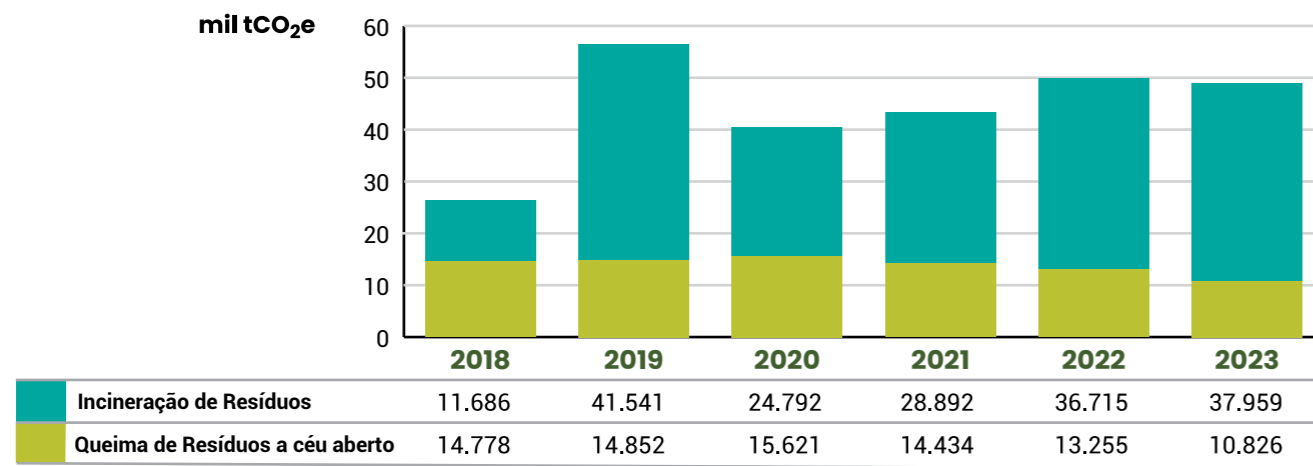
A emissão pelo tratamento térmico seja por incineração ou de forma não controlada, com a queima a céu aberto, representa 1,1% das emissões totais do setor. As principais fontes de emissões identificadas são provenientes da incineração de Resíduos Sólidos de Saúde (RSS) e da queima de resíduos sólidos municipais por parte da população que não tem acesso aos serviços de coleta. A visão geral dos resultados é apresentada pela Figura 53, em que é possível notar o aumento de 225% na emissão advinda de incineração e a redução 27% da queima a céu aberto (IBGE, 2024a), mostrando que a população tem recebido mais acesso à coleta de resíduos sólidos ao longo dos anos.

Figura 52: Emissões por tratamento biológico no Rio Grande do Sul (2018-2023)



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Figura 53: Emissões por incineração e queima a céu aberto no Rio Grande do Sul (2018-2023)



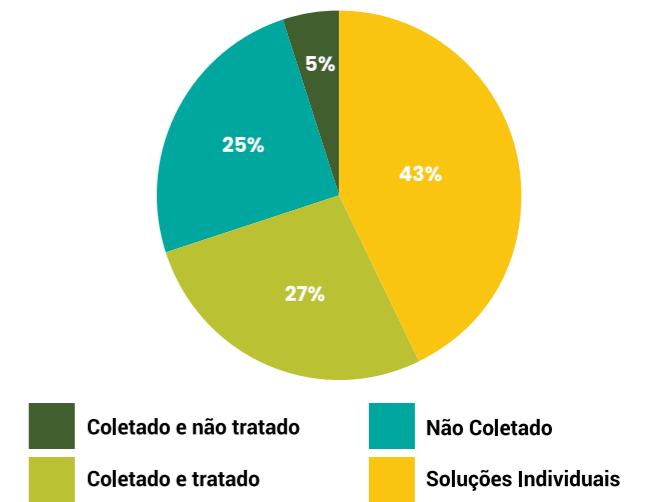
Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Tratamento e despejo de águas residuárias domésticas

As emissões de GEE relacionadas com o tratamento e despejo de águas residuárias domésticas podem ser desagregadas em quatro principais rotas de tratamento ou não tratamento e 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.

Quanto à categoria no todo, esta representa em média 33% das emissões em Resíduos, ou 1,3 MtCO₂e em média por ano. Para os 6 anos inventariados, houve redução de 10% de emissão, em que é possível verificar, por meio da Figura 54, as quedas de 8% nas emissões de soluções individuais, de 29% de águas residuárias não coletadas e de 16% de coleta e tratamento de águas residuárias, mas houve aumento significativo, de 181%, na emissão de águas coletadas que não são tratadas.

Figura 55: Média de emissão por sistema no Rio Grande do Sul (2018-2023)

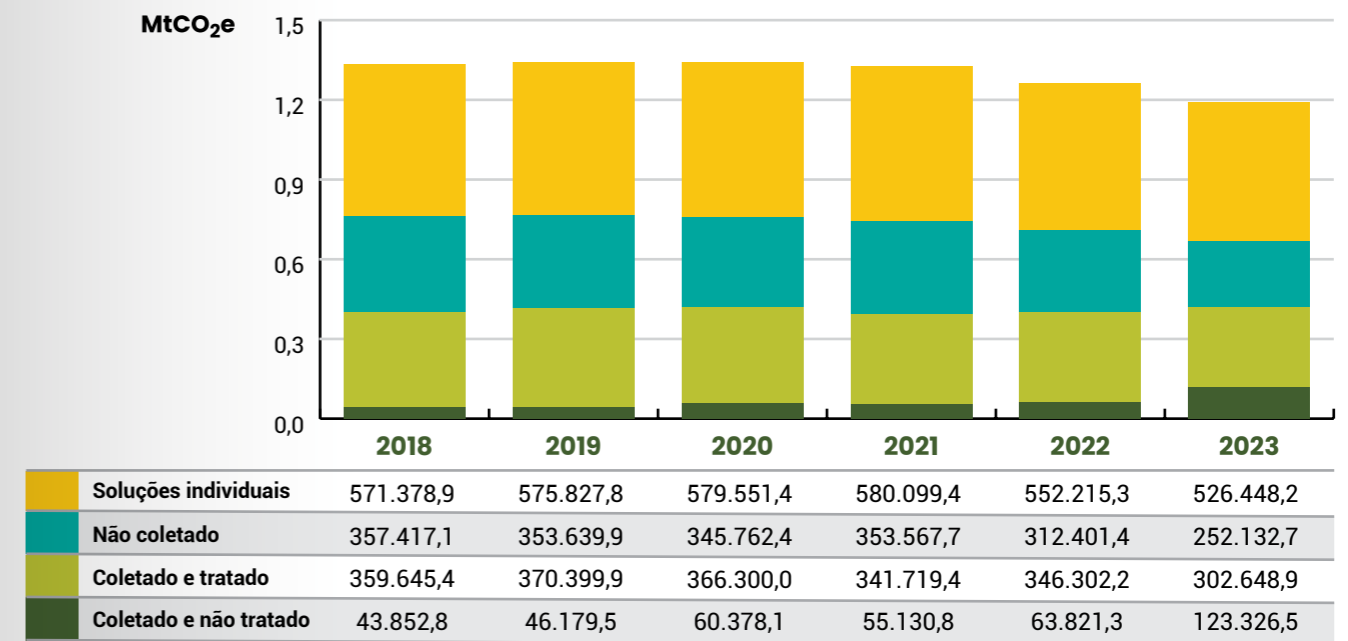


Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

A participação de cada sistema emissor, conforme Figura 55, é de 43,2% para soluções individuais; 26,6% para efluentes coletados e tratados; 25,2% para efluentes não coletados e 5% para efluentes domésticos coletados, mas não tratados.

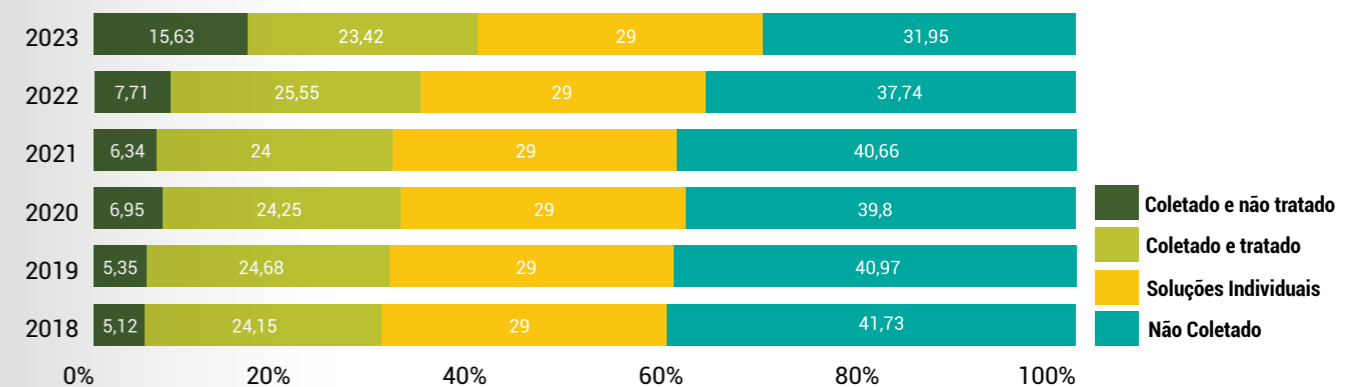
Destaca-se que no período analisado foi observado queda de 23% da população sem atendimento algum; manutenção do total sobre o uso de soluções individuais, como fossas sépticas; redução de 3% da população com acesso a rede de coleta e tratamento de efluentes domésticos; e aumento de 205% da população que tem coleta, mas não tem o esgoto tratado, conforme Figura 56.

Figura 54: Emissões por águas residuárias domésticas no Rio Grande do Sul (2018-2023)



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Figura 56: Taxa de atendimento da população na coleta e tratamento de esgoto (2018-2023)



Fonte: Adaptado de SNIS, 2024a; SINISA, 2025c; IBGE, 2024b

Tratamento e despejo de águas residuárias industriais

As estimativas de emissões de águas residuais industriais representam 11,01% do setor de Resíduos e foram feitas por meio das atividades industriais que vem da produção de leite pasteurizado, leite cru, celulose, produção de carne suína, produção de carne de aves e produção de carne bovina, que podem ser vistas por meio da Figura 57.

Em relação ao comportamento destas emissões, houve variação de +0,36% no período inventariado, mas com reduções de emissão de 12% na produção de carne bovina, 3% na produção de leite cru, 22% na produção de leite pasteurizado, e com aumento de 38% da produção de carne suína, 37% da produção de carne de aves e 15% na produção de celulose.

Por meio da Figura 58, é possível verificar a média de participação de emissão em águas residuárias industriais do Estado entre 2018 e 2023, em que a produção de leite cru fica com 59,5% das emissões, a produção da celulose aparece com 24,6% e a produção de carne bovina com 11,6%.

Figura 58: Média de emissão por produção industrial no Rio Grande do Sul (2018-2023)

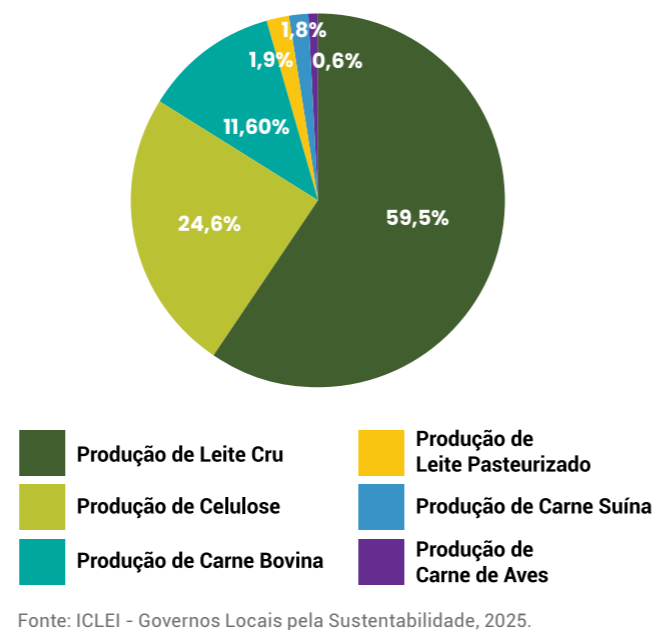
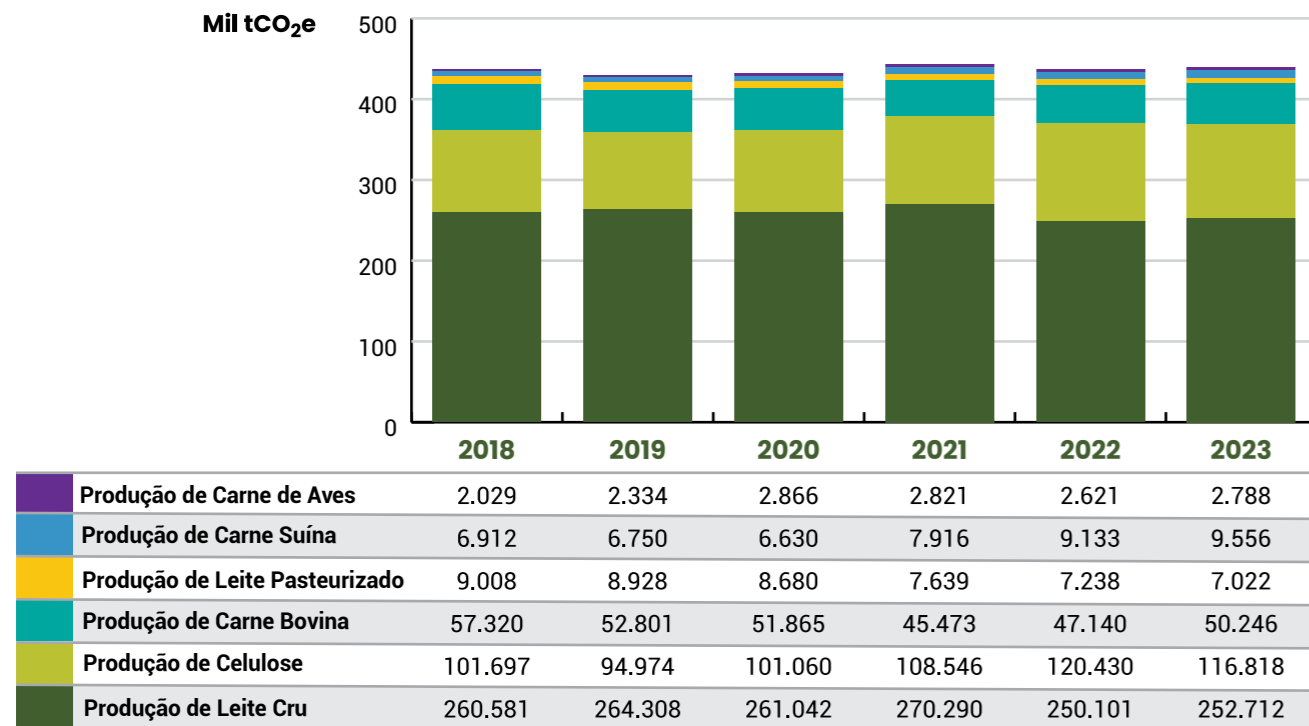


Figura 57: Emissões por águas residuárias industriais no Rio Grande do Sul (2018-2023)¹⁷



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

17. A emissão vinda da produção de carne de aves, apesar de presente, é pouco significativa no todo e por isso não aparece na Figura 57.

4.1.5. Processos Industriais e Uso de Produtos - IPPU

Apesar da presença de indústrias de transformação no Estado, a articulação para adquirir dados de produção anual e inventários corporativos não teve um retorno alto e, por isso, as emissões estimadas foram realizadas somente com dados disponibilizados. Desta forma, a seguir são demonstradas as emissões de CO₂e por transformações físico-químicas na matéria e uso de produtos industriais.

De acordo com a Figura 59, pode-se observar que o setor de IPPU no Rio Grande do Sul totalizou aproximadamente 4 MtCO₂e entre 2018 e 2023, com uma média anual de 629 mil tCO₂e e relativa estabilidade das emissões totais no período, com aumento de 7,3%.

Dentre as categorias inventariadas, Produtos Minerais, pela produção de cimento, liderou as emissões com 3,47 MtCO₂e, o que corresponde a 92,1% do total do setor no período. Essa categoria teve aumento de 8,2% nas emissões entre 2018 e 2023, passando de cerca de 499 mil tCO₂e para 540 mil tCO₂e, com um pico em 2020 (720 mil tCO₂e). O comportamento oscilante pode estar ligado a variações na demanda da construção civil.

A Produção de Metais, onde se estimaram emissões pela produção de aço, foi a segunda principal fonte, com 288 mil tCO₂e no período, correspondendo a 7,6% das emissões do setor. Suas emissões permaneceram estáveis entre 2018 e 2023. As demais categorias – Indústria Química

e Uso não energético de derivados de petróleo – tiveram participação bastante reduzida, juntas somando menos de 1% das emissões totais. Ambas apresentaram quedas significativas: a Indústria Química teve redução de 27,6%, e o Uso Não Energético de Derivados de Petróleo caiu quase 89%, saindo de cerca de 1.200 tCO₂e em 2018 para apenas 134 tCO₂e em 2023.

As Figuras 60 e 61 demonstram visualmente a média e contribuição anual de cada categoria emissora do setor.

Figura 60: Perfil de emissões em IPPU

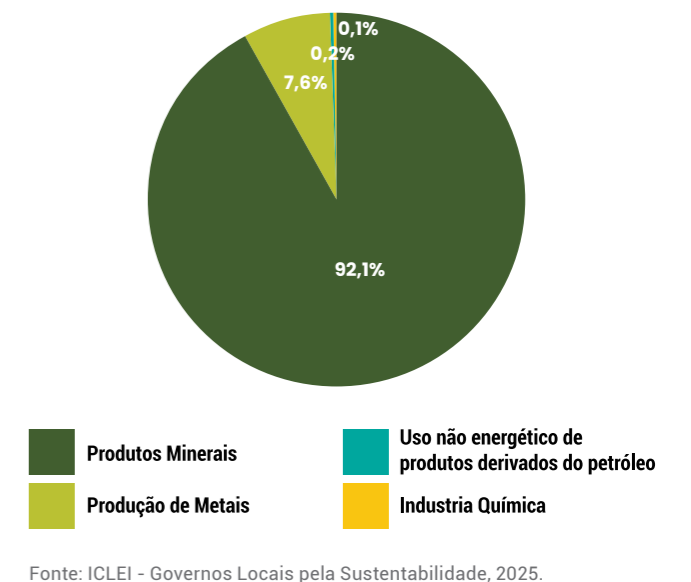
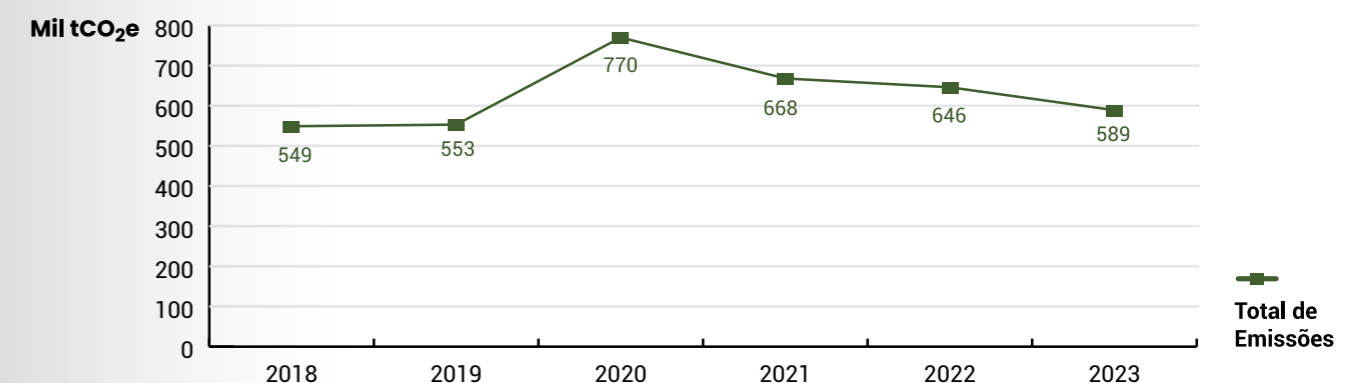
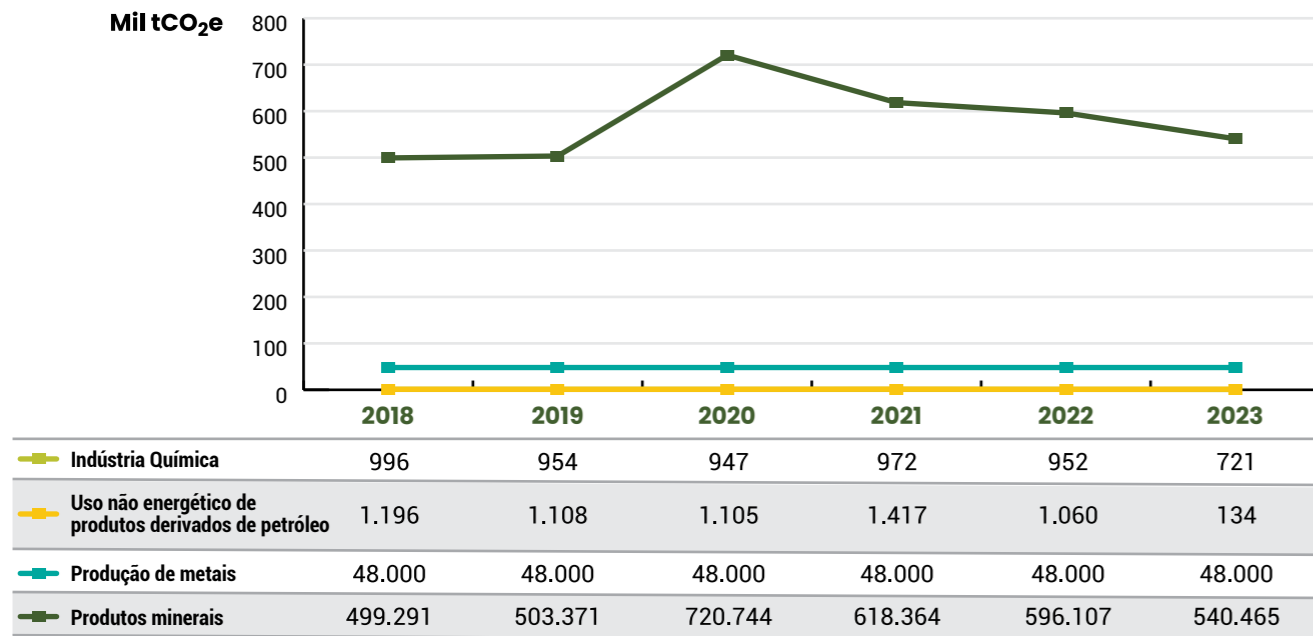


Figura 59: Comportamento das emissões de IPPU (2018-2023)



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Figura 61: Emissões das categorias em IPPU entre 2018 e 2023¹⁸



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

4.2. COMPARAÇÕES

A análise das emissões de GEE do Rio Grande do Sul ganha uma dimensão estratégica crucial quando contextualizada em cenários mais amplos. Esta seção compara o perfil de emissões do Estado com o do Brasil e de outras unidades federativas, utilizando métricas absolutas e de intensidade, como emissão per capita e por PIB. Essa perspectiva comparativa não só valida os dados apresentados, mas também fornece benchmarks para o monitoramento, a formulação de políticas públicas e a identificação de oportunidades de melhoria no caminho para a conformidade climática.

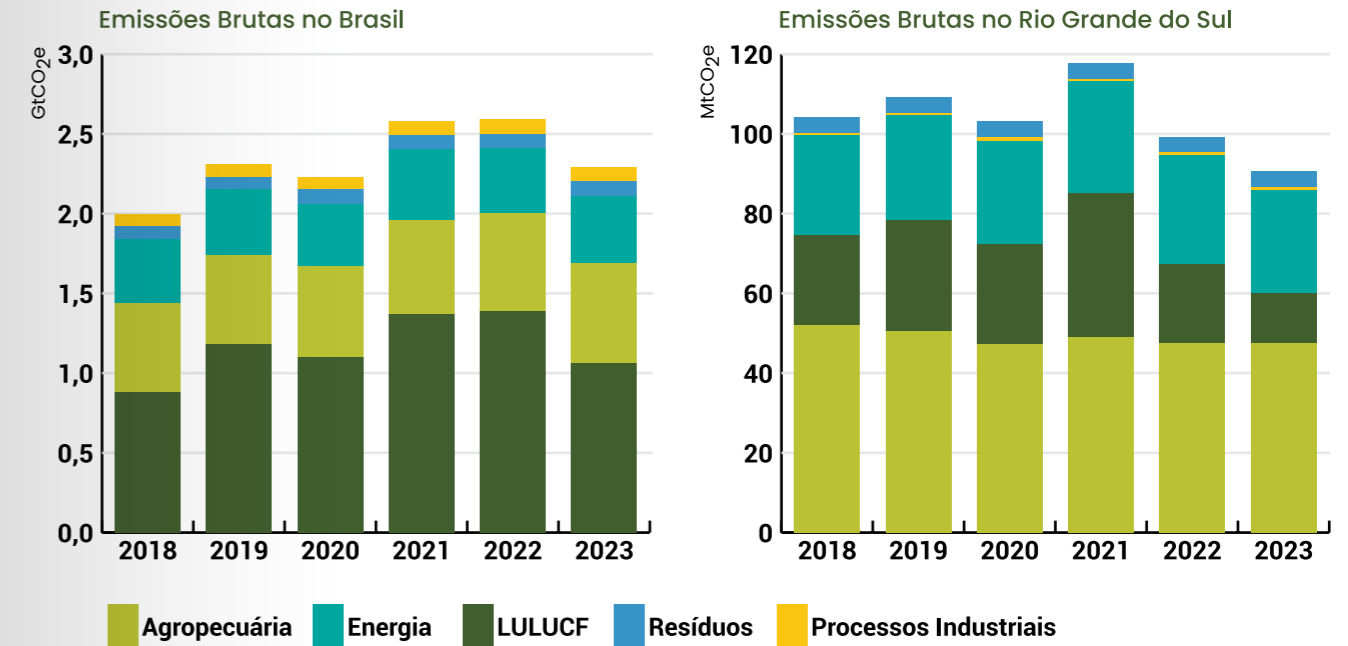
Comparando o comportamento das emissões entre Rio Grande do Sul e o Brasil¹⁹, percebe-se que o ano de 2021 foi o período de maior contribuição em ambos os casos, atingindo 117 MtCO₂e (emissões brutas) e 95 MtCO₂e (emissões líquidas) no Estado, e 2,5 bilhões de tCO₂e (GtCO₂e) em emissões brutas e quase 2 GtCO₂e em emissões líquidas no Brasil. Porém no ano seguinte (2022), o Rio Grande do Sul conseguiu reduzir em 16% suas emissões brutas e 19% em emissões líquidas, enquanto o Brasil ficou praticamente estagnado. Em relação ao período de

menor emissão, o Rio Grande do Sul apresenta em 2023 os menores números, enquanto que para o Brasil o ano com menor quantidade de emissões foi 2018 com 1,38 GtCO₂e (tanto em emissões brutas quanto líquidas).

Quanto aos principais setores emissores, no Rio Grande do Sul, são os setores de Agropecuária e Energia, que representam, respectivamente, 47% e 25%, das emissões brutas do Estado. Já em relação ao Brasil, os principais setores observados foram os setores de LULUCF e Agropecuária, representando, respectivamente, 50% e 25% do total de emissões brutas do país.

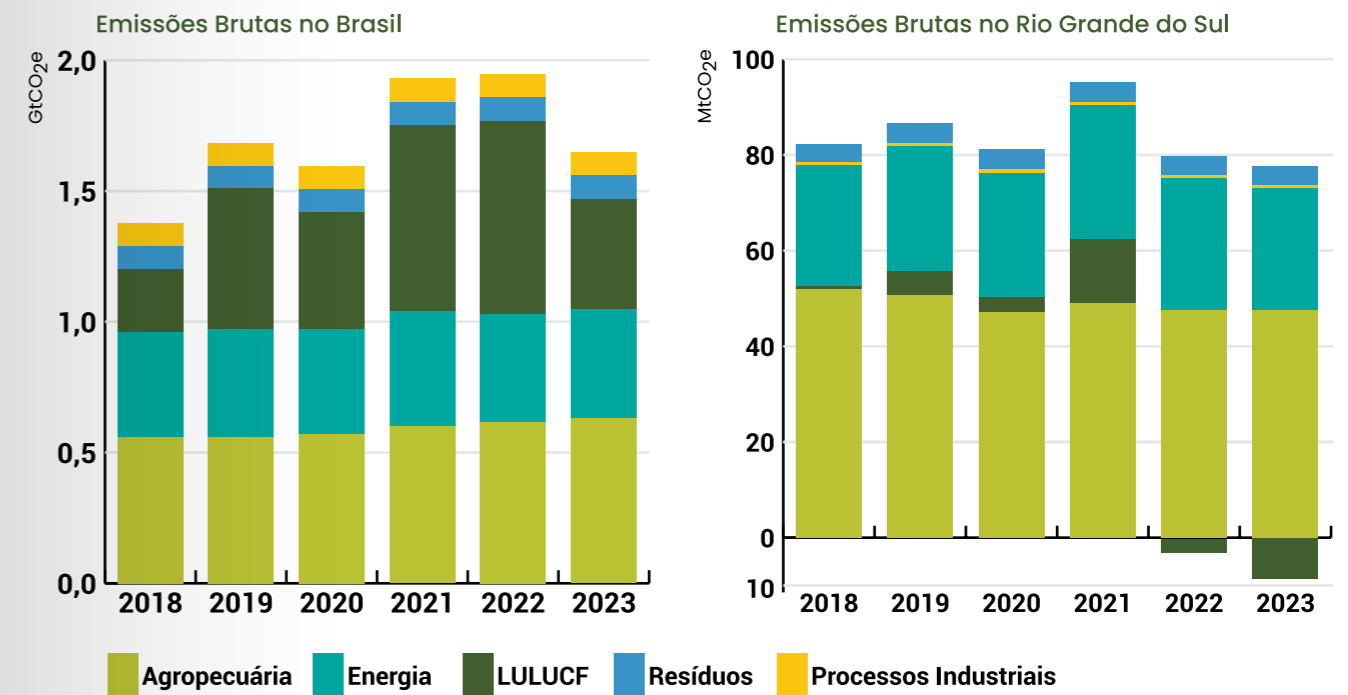
Ao relacionar o Estado do Rio Grande do Sul com o Brasil, no ano de 2023, identificou-se que o setor em comum é o da Agropecuária, tendo como principal fonte de emissão, em ambos os casos, a presença de rebanhos. A diferença é que no caso do Brasil, o setor de agropecuária está como a segunda principal fonte e em primeiro o setor de LULUCF. As Figuras 62 e 63 demonstram comparações por tipo de emissão e setor entre o país e o Estado.

Figura 62: Emissões brutas no Brasil e Rio Grande do Sul (2018-2023)



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025; SEEG, 2024.

Figura 63: Emissões líquidas no Brasil e Rio Grande do Sul (2018-2023)



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025; SEEG, 2024.

18. As emissões relacionadas com a indústria química e ao uso não energético de produtos derivados de petróleo têm menor participação que as demais categorias e por isso não aparecem de forma significativa na Figura 61.

19. Para o Estado foram utilizados os totais deste inventário e para o Brasil foram levantados os totais por meio do SEEG (2024).

Além disso, também foram comparados os resultados obtidos pelo presente relatório com as emissões estaduais levantadas pelo SEEG. Para o período de 2018 a 2023, observou-se convergência e uma forte correlação nos valores totais de emissões líquidas de GEE.

Em todos os anos analisados, as diferenças entre os dois conjuntos de dados foram pequenas. Por exemplo, em 2018 e 2019, os dados são praticamente idênticos: 82,2 MtCO₂e e 86,4 MtCO₂e no inventário estadual contra 81,9 MtCO₂e e 86,5 MtCO₂e no SEEG. Em 2020, ambos registram exatamente 81,0 MtCO₂e. Já em 2021, a diferença aumenta ligeiramente, com 98,4 MtCO₂e no SEEG frente a 95,1 MtCO₂e no inventário estadual, o que ainda representa menos de 4% de variação relativa. Nos anos seguintes, os dados seguem próximos, com tendência de redução nas emissões em ambas as séries.

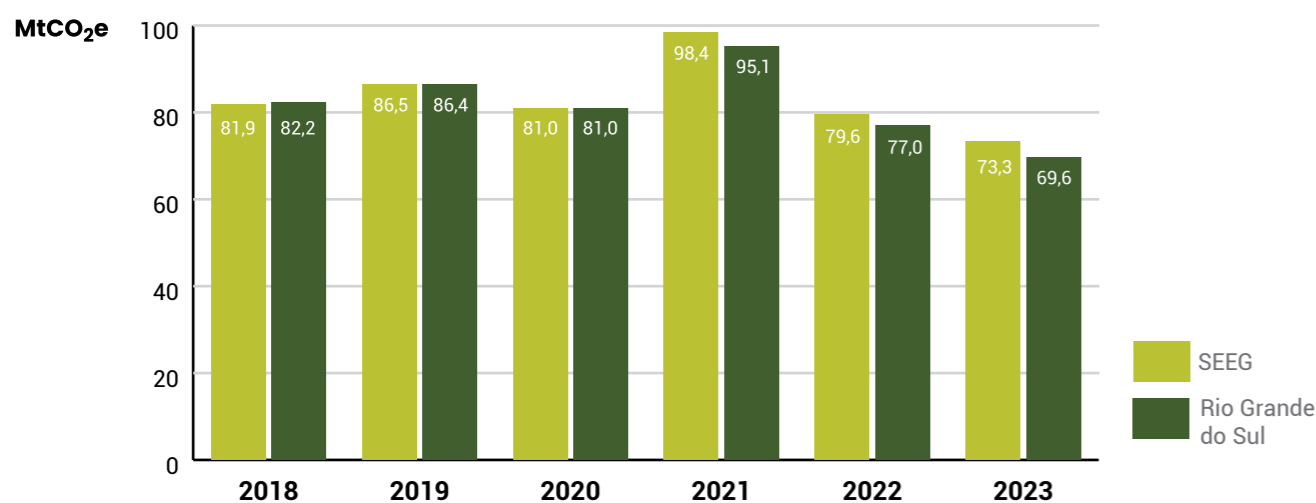
Essa proximidade reforça a confiabilidade dos dados estaduais e sua aderência a outras fontes de referência nacional, como o SEEG, contribuindo para um acompanhamento coerente das emissões no Estado. Além disso, ela aponta para um alinhamento metodológico importante para fins de transparência e comparação, mesmo considerando que cada base pode adotar diferentes abordagens, escopos

ou fontes de dados. A Figura 64 demonstra a comparação ano a ano.

Já a partir de uma análise comparativa entre o Inventário Nacional de Emissões (IN) e o presente inventário do Rio Grande do Sul evidencia-se a complementaridade entre as duas bases, especialmente no que diz respeito à coerência dos resultados. O IN cobre o período de 1990 a 2016 e indica uma trajetória relativamente estável das emissões líquidas no Estado, com valores que variam entre cerca de 68 e 92 MtCO₂e, e pico em 2010 (91,83 MtCO₂e).

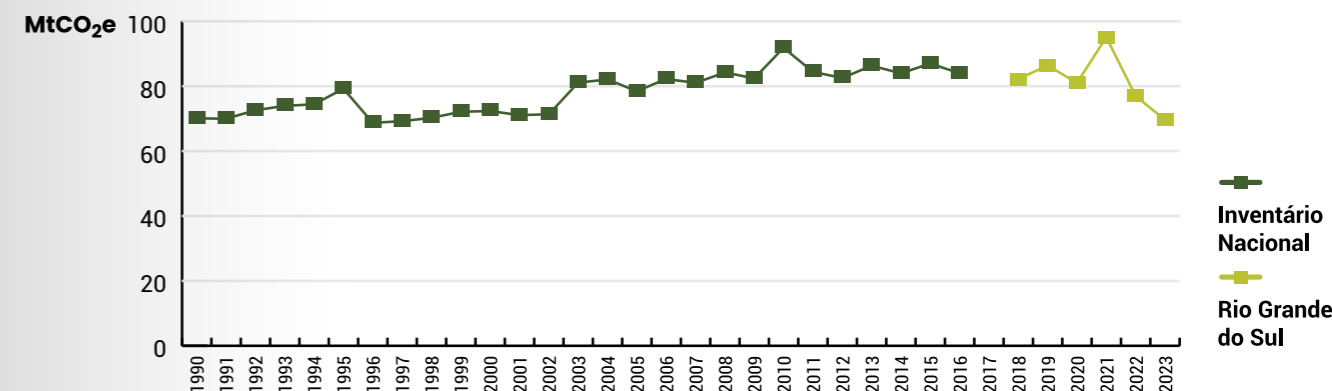
O presente inventário estadual, que abrange os anos de 2018 a 2023, aponta para um comportamento semelhante no nível das emissões. Os valores iniciam em 82,2 MtCO₂e em 2018, atingem 95,1 MtCO₂e em 2021 e recuam para 69,6 MtCO₂e em 2023. Esses números se mantêm próximos à faixa observada no IN, demonstrando consistência entre as séries e reforçando a confiabilidade dos dados estaduais, mesmo diante de possíveis diferenças metodológicas ou atualizações em fatores de emissão. Por meio da Figura 65 é possível observar a comparação das emissões para o Estado do Rio Grande do Sul entre as duas produções.

Figura 64: Comparação das emissões no Rio Grande do Sul (2018-2023)



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025; SEEG, 2024

Figura 65: Comparação das emissões no Rio Grande do Sul (1990-2023)



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025; MCTI, 2020a.

Em uma perspectiva de comparação deste inventário estadual com alguns estados brasileiros que apresentam um perfil econômico com forte influência do setor agropecuário, outros com características populacionais semelhantes ao Estado e também uma proximidade regional, verificou-se que o Rio Grande do Sul apresentou uma tendência de redução nas emissões totais, passando de 82,2 MtCO₂e em 2018 para 69,6 MtCO₂e em 2023, numa queda de aproximadamente 15%. Essa trajetória contrasta com o comportamento de alguns estados como Mato Grosso, que lidera o ranking com emissões elevadas e oscilantes, atingindo o pico de 283 MtCO₂e em 2022, fortemente influenciado por emissões do uso da terra e atividades agropecuárias.

São Paulo manteve-se como o segundo maior emissor entre os estados analisados, com valores relativamente estáveis, girando em torno de 140 MtCO₂e. Já Minas Gerais apresentou leve crescimento no período, ultrapassando 146 MtCO₂e em 2023. Em contrapartida, estados como Santa Catarina e Paraná registraram menores volumes de emissões, com variações suaves e médias entre 43 e 68 MtCO₂e.

Essa análise evidencia que, embora o Rio Grande do Sul esteja entre os estados com maior produção agropecuária e industrial, suas emissões totais permanecem moderadas em relação a estados de perfil semelhante, como Minas Gerais e Mato Grosso. A tendência de redução das emissões reflete avanços importantes, como mudanças na matriz produtiva, redução do desmatamento, aumento dos estoques de carbono em produtos florestais madeireiros e, adicionalmente, impactos de eventos climáticos

extremos que limitaram a atividade produtiva em determinados períodos, conforme abordado na seção Visão Geral. A Figura 66 traz o comparativo de emissões entre os Estados.

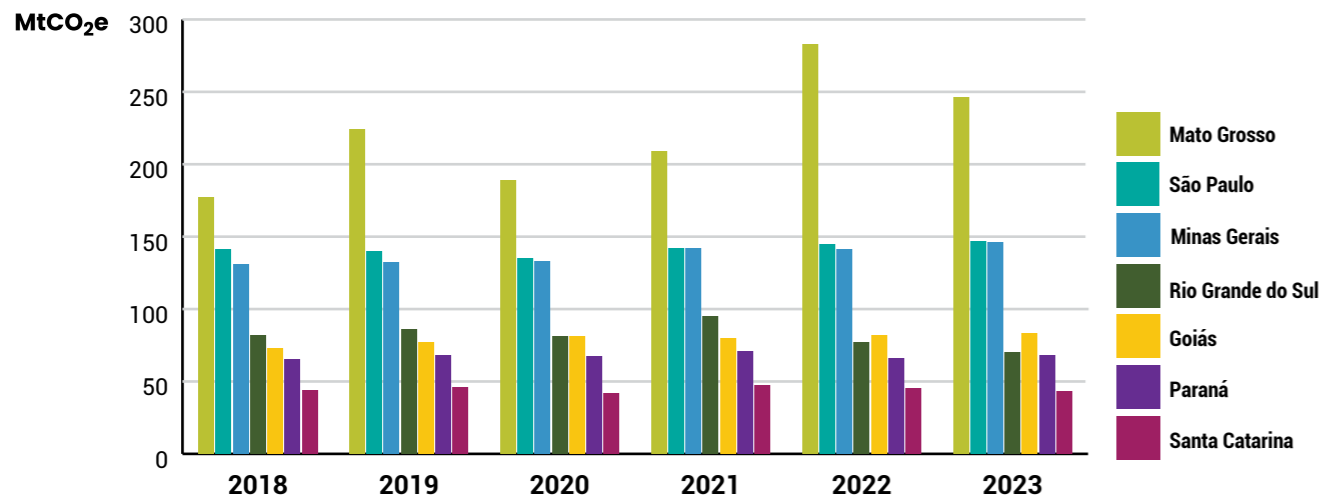
Ainda com apoio de dados estaduais de emissão pelo SEEG, deste inventário e dados do Censo Demográfico (IBGE, 2023a), foi possível relacionar a intensidade de emissão por habitante no ano de 2022. Estas variaram significativamente entre os estados brasileiros.

O Rio Grande do Sul apresenta uma emissão média de 7,08 tCO₂e por habitante, valor acima de estados como São Paulo (3,25 tCO₂e/hab), Paraná (5,76 tCO₂e/hab), Santa Catarina (5,94 tCO₂e/hab) e Minas Gerais (6,84 tCO₂e/hab), mas ainda abaixo da média nacional, que é de 9,63 tCO₂e/hab. Essa diferença se explica, em grande parte, pela forte presença da agropecuária, setor que concentra a maior parte das emissões no Estado.

Em contrapartida, São Paulo apresenta o menor índice entre os analisados, reflexo de sua alta densidade populacional. No outro extremo, Goiás (11,57 tCO₂e/hab) e principalmente Mato Grosso (77,28 tCO₂e/hab) registram as maiores emissões per capita do grupo. Isso ocorre porque, mesmo com populações menores, esses estados concentram atividades mais emissoras atreladas às alterações de uso da terra.

Em síntese, embora o Rio Grande do Sul não figure entre os maiores emissores absolutos do país, estando inclusive abaixo da média brasileira, suas emissões por habitante estão entre as mais altas da região Sul e Sudeste, conforme é possível observar pela Figura 67.

Figura 66: **Comparação das emissões entre Estados brasileiros (2018-2023)**

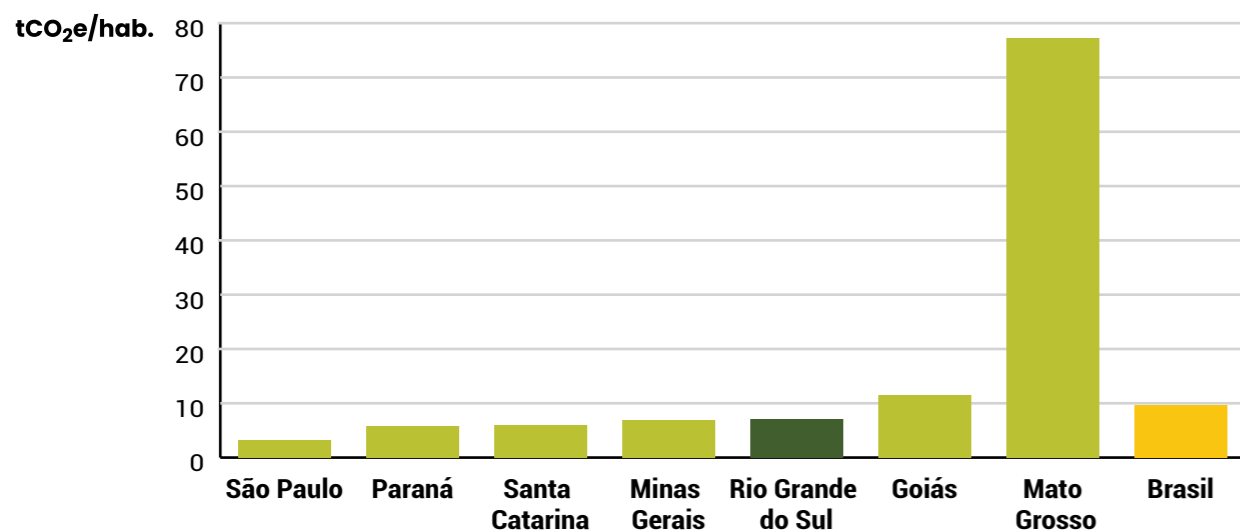


Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025; SEEG, 2024

Em termos de intensidade de emissões de CO₂e por milhão de reais de PIB (IBGE, 2025), ao comparar os resultados deste inventário para o ano de 2021 com as emissões de outros estados disponíveis no SEEG (2024), verifica-se que São Paulo apresenta o menor valor, com aproximadamente 52,3 tCO₂e por milhão de reais, destacando-se como uma economia relativamente mais eficiente em termos de emissões. Em contrapartida, Mato Grosso possui a maior intensidade, atingindo cerca de 896 tCO₂e por milhão de reais, um valor que supera o índice paulista em quase 17 vezes.

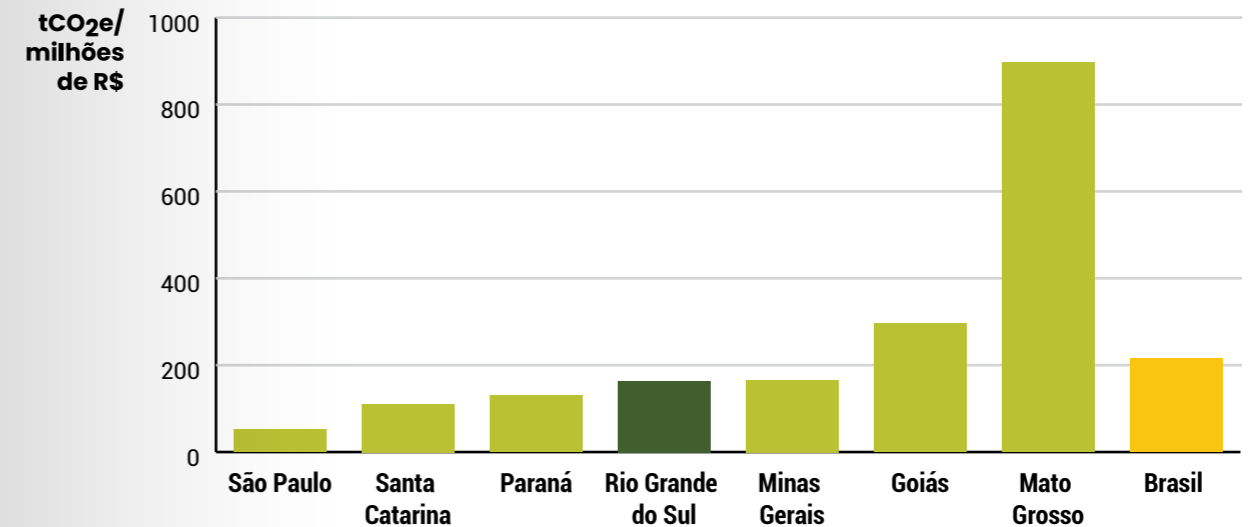
Estados como Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul (com base nos dados deste inventário) apresentam valores intermediários, variando entre 110 e 163 tCO₂e por milhão de reais, ao passo que Minas Gerais e Goiás registram índices mais elevados, de 166 tCO₂e e 296 tCO₂e, respectivamente (Figura 68). Em comparação com a média nacional, estimada em aproximadamente 215 tCO₂e por milhão de reais, o Rio Grande do Sul posiciona-se abaixo da média, com 163 tCO₂e por milhão de reais, refletindo um perfil econômico e setorial menos intensivo em emissões.

Figura 67: **Emissão por habitante entre Estados brasileiros no ano de 2022**



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025; SEEG, 2024; IBGE, 2023a.

Figura 68: **Emissão por PIB entre Estados brasileiros no ano de 2021**



Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025; SEEG, 2024; IBGE, 2025.

Olhando especificamente para o Rio Grande do Sul, a intensidade de emissões por PIB apresentou uma queda gradual ao longo do período analisado (2018-2021), acumulando uma redução de 9% nesse intervalo. Em 2018, o indicador era de 179,79 tCO₂e/mi R\$. Em 2019, houve uma leve queda para 179,17 tCO₂e (-0,3%). Em 2020, a intensidade diminuiu para 172,08 tCO₂e (-4,0% em relação ao ano anterior), e em 2021, atingiu 163,55 tCO₂e (-5,0%). Esses números destacam a tendência de melhoria na eficiência das

emissões do Estado, indicando avanços na redução da intensidade de carbono relativa à geração de PIB.

Os resultados do inventário de emissões de GEE, juntamente com a análise do contexto estadual, subsidiam a discussão de estratégias de mitigação, apresentadas de maneira resumida nas próximas seções deste relatório e que posteriormente serão consolidadas no plano de ação de enfrentamento à mudança do clima do estado.



Foto: Governo do Estado do Rio Grande do Sul

Capítulo 05

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (IEGEE) quantificou e analisou os fluxos de GEE entre os anos de 2018 e 2023 para o estado do Rio Grande do Sul. Mais do que uma ferramenta de monitoramento, o IEGEE é um instrumento para orientar políticas e ações voltadas à redução das emissões e à adaptação climática – como é o caso do Plano de Ação Climática do estado.

Ele permite compreender o perfil das emissões geradas pelas diferentes atividades econômicas, identificar os setores com maior potencial de mitigação e acompanhar o progresso das estratégias climáticas implementadas. As informações detalhadas neste documento constituem instrumento estratégico para informar o planejamento do estado do Rio Grande do Sul rumo a uma economia resiliente, de carbono zero e equitativa, alinhada com as metas globais e que responda aos desafios ambientais e climáticos atuais.

A seguir, apresenta-se a síntese dos resultados das análises realizadas, destacando-se i) o perfil de emissões do estado; ii) os resultados por setor, categoria e subcategoria; iii) recomendações por setor; e iv) recomendações estratégicas para futuras edições do IEGEE.

Perfil de emissões do estado

As emissões brutas de GEE – ou seja, a soma de todas as atividades emissoras – se mantiveram em aproximadamente 104 MtCO₂e por ano, com uma redução de 13% no total entre 2018 e 2023. Em 2018, as emissões brutas foram de 104,1 MtCO₂e, variando ao longo dos meses até chegar a 109,2 MtCO₂e em 2019, representando um leve aumento. Em 2020, as emissões caíram para 103,1 MtCO₂e, possivelmente

devido às mudanças econômicas e de consumo provocadas pela pandemia de COVID-19. Embora em 2021 as emissões tenham atingido 117,8 MtCO₂e – o maior valor do período –, em 2022 observou-se uma redução para 99,4 MtCO₂e. Finalmente, em 2023, as emissões caíram para 90,6 MtCO₂e – o menor valor registrado.

As emissões líquidas de GEE – ou seja, o resultado final subtraindo-se as emissões removidas da atmosfera através de processos de absorção e sequestro de carbono pela vegetação do estado – seguiram uma trajetória de variação moderada durante o período analisado. Em 2018, as emissões foram de 82,2 MtCO₂e, seguidas de 86,4 MtCO₂e e 81 MtCO₂e em 2019 e 2020, respectivamente. Já em 2021, assim como ocorreu com as emissões brutas, se observou um aumento significativo, chegando-se a 95,1 MtCO₂e. Em 2022 e 2023, no entanto, as emissões caíram para 77 MtCO₂e e 69,6 MtCO₂e, respectivamente. Entre 2018 e 2023, portanto, as emissões líquidas totais apresentaram uma redução de 15% em relação ao valor inicial e a média anual foi de 82 MtCO₂e. Essa tendência de redução contínua observada pode ser atribuída a ações de preservação e recuperação ambiental, que incluem o fortalecimento de políticas públicas de uso sustentável da terra e de aumento da cobertura vegetal.

Resultados por setor, categoria e subsetor

Entre 2018 e 2023, seguindo a atividade econômica predominante no Estado, o setor da agropecuária se manteve como o principal responsável pelas emissões de GEE, com destaque para a fermentação entérica – processo de digestão

de animais ruminantes que emite gás metano. O setor de energia ficou em segundo lugar, também com uma expressiva participação devido ao consumo de combustíveis fósseis para o transporte rodoviário, que seguiu despontando nas emissões ao longo do período analisado.

O setor de resíduos ficou em terceiro lugar, especialmente pelas emissões provenientes da disposição de resíduos sólidos e da coleta e tratamento de efluentes líquidos domésticos. O setor de IPPU foi o que apresentou a menor participação no total das emissões. Contudo, destaca-se que tal número se deve, também, pela falta de dados primários, o que dificulta uma análise aprofundada dessas atividades.

Por fim, foi no setor de LULUCF que se observou uma mudança relevante durante o período analisado. Considerando as atividades de desmatamento, o setor apresentou um pico de emissões em 2021. No entanto, a partir de 2022, o setor passou a sequestrar mais CO₂ do que emitia previamente, principalmente devido às remoções de GEE provenientes da vegetação secundária. Ficou demonstrado, assim, a importância de ações de preservação e recuperação ambiental que contribuam para o aumento da cobertura florestal e outros processos que levam à remoção e ao sequestro de carbono.

A Tabela 2 apresenta as emissões totais de GEE dos setores durante o período analisado.

Tabela 2: Emissões brutas e líquidas de GEE no Rio Grande do Sul por setor (2018-2023)

	Setor de Atividade	Emissões de GEE (MtCO ₂ e)					
		2018	2019	2020	2021	2022	2023
Emissões Brutas	Agropecuária	51.983.254	50.595.289	47.200.153	49.103.756	47.636.829	47.535.949
	Energia	25.347.953	26.227.507	25.895.400	28.046.291	27.534.776	25.996.583
	IPPU	549.483	553.434	770.797	668.752	646.119	589.321
	Resíduos	3.766.717	3.975.878	4.122.097	3.980.816	3.982.711	3.956.438
	LULUCF	22.479.232	27.838.626	25.063.212	35.982.149	19.633.275	12.492.944
Total de Emissões Brutas		104.126.638	109.190.733	103.051.658	117.781.763	99.433.710	90.571.235
Emissões Líquidas	Agropecuária	51.983.254	50.595.289	47.200.153	49.103.756	47.636.829	47.535.949
	Energia	25.347.953	26.227.507	25.895.400	28.046.291	27.534.776	25.996.583
	IPPU	549.483	553.434	770.797	668.752	646.119	589.321
	Resíduos	3.766.717	3.975.878	4.122.097	3.980.816	3.982.711	3.956.438
	LULUCF	567.913	5.089.643	3.051.257	13.269.279	-2.783.868	-8.505.909
Total de Emissões Líquidas		82.215.319	86.441.750	81.039.703	95.068.893	77.016.567	69.572.382

Fonte: ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Ao longo da série analisada, o setor da Agropecuária se manteve como o principal contribuinte pelas emissões de GEE no Rio Grande do Sul, com destaque para a fermentação entérica, diretamente relacionada à quantidade de bovinos no Estado. A produção pecuária tem papel duplo nesse contexto: enquanto contribui significativamente para as emissões devido às emissões entéricas, também é uma atividade de grande relevância econômica, gerando emprego, renda e colocando o Estado como importante produtor dentro da cadeia nacional. Assim, é fundamental que as estratégias de redução de emissões no setor incluam como diretriz o fortalecimento da produtividade e da sustentabilidade da atividade.

O setor de Energia apareceu em segundo lugar, com uma expressiva participação, especialmente devido ao consumo de combustíveis para o transporte rodoviário, que continua apresentando aumento de emissões ao longo do período analisado no Estado. A redução de emissões neste setor pode ser viabilizada por meio de estratégias como a substituição de combustíveis fósseis por fontes alternativas de energia e a eletrificação gradual da frota de transporte logístico e coletivo. Essas medidas, além de mitigar emissões, contribuem para a transição energética e impactam diretamente na qualidade de vida urbana, com benefícios adicionais à saúde pública e ao meio ambiente.

O setor de Resíduos foi o terceiro em contribuição, com sua relevância derivada principalmente das emissões da disposição de resíduos sólidos e da coleta e tratamento de efluentes líquidos domésticos. Em termos de contribuição, o setor de IPPU (Indústria, Processamento de Produtos e Uso de Produtos) apresentou menor participação, em grande parte pela falta de dados primários, o que dificulta uma análise mais aprofundada dessas atividades.

Uma mudança relevante ocorreu no setor de Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (LULUCF), que está intrinsecamente relacionado ao setor de Agropecuária, dado que as duas atividades muitas vezes compartilham expansão ou conversão de terras. O LULUCF apresentou atividades com picos de emissões de desmatamento em 2021. Contudo, a partir de 2022, passou a sequestrar mais CO₂ do que emitir, área beneficiada por iniciativas

voltadas à recuperação ambiental e ao incremento da vegetação secundária. Este comportamento destaca a importância estratégica de ações combinadas entre os setores de Agropecuária e LULUCF, tanto para aprimorar a gestão integrada das emissões quanto para alcançar maiores benefícios econômicos e ambientais.

Por fim, os resultados do processo destacam como os setores mais emissivos são também aqueles com maior impacto na base econômica do estado. Em particular, ao relacionar a fermentação entérica e as emissões com o contingente de bovinos e o resultado econômico da cadeia pecuária, vê-se que o desafio está em reduzir as emissões sem prejudicar o desempenho econômico da atividade. Assim, o desenvolvimento de tecnologias voltadas para a redução de emissões e aumento da eficiência produtiva emerge como essencial para atender a um objetivo central: emissão líquida menor com impactos econômicos positivos para o estado.

Recomendações por setor

Embora o estado já venha implementando uma série de programas e ações que podem apoiar na mitigação das emissões de GEE, são relacionadas, a seguir, recomendações específicas para os setores considerados. Essas recomendações estão alinhadas a planos, programas e políticas, refletindo o compromisso em buscar sinergias com as agendas nacional e regional, promovendo ações integradas e eficazes no enfrentamento da crise climática.

1. Promover a redução das emissões de GEE no setor agropecuário por meio da adoção de sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), com o objetivo de aumentar a produtividade, recuperar áreas degradadas e melhorar a eficiência no uso de recursos naturais. Além disso, visando à redução das emissões provenientes da fermentação entérica, incentivar o melhoramento genético de animais para menor emissão de metano.

Soluções relacionadas: Plano Estadual de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (ABC+RS), Plano de Desenvolvimento Econômico, Inclusivo e Sustentável, e Programa de Recuperação Socioprodutiva, Ambiental e de Resiliência Climática

da Agricultura Familiar Gaúcha (Operação Terra Forte).

2. Aumentar a capacidade de remoção e sequestro de CO₂ através da proteção e recuperação de áreas verdes. Isso pode ser feito a partir do reforço das estratégias de comando e controle relacionadas ao desmatamento, que incluem o fortalecimento do sistema de fiscalização ambiental do Estado – como a regularização ambiental de imóveis rurais – e a realização de campanhas de sensibilização que contem com o apoio da academia e de organizações locais sobre os problemas associados ao desmatamento.

Soluções relacionadas: Programa Assentamento Legal, Programa Campos do Sul, Programa Estadual de Pagamentos por Serviços Ambientais (PEPSA), Programa Estadual de Recuperação da Vegetação Nativa do Estado do Rio Grande do Sul (PROVEG-RS), Campos do Sul.

3. Promover a eficiência energética industrial e reduzir o uso de carvão em indústrias de geração de energia e de transformação, como parte da transição para uma produção com menores emissões e, eventualmente, neutra em carbono. Igualmente, incentivar a expansão de fontes limpas e renováveis na matriz energética estadual, com o objetivo de diminuir a dependência do carvão e, ao mesmo tempo, fomentar a criação de empregos verdes.

Soluções relacionadas: Plano Estadual de Transição Energética Justa para as Regiões Carboníferas, Ampliação da Matriz Elétrica Renovável, Medidas de incentivo a produção de Hidrogênio Verde.

4. Reduzir as emissões em transportes por meio da substituição de combustíveis fósseis e da eletrificação da frota de transporte coletivo.

Soluções relacionadas: Plano Estadual de Logística de Transportes (PELT-RS).

5. Reduzir as emissões oriundas do tratamento de resíduos sólidos e efluentes líquidos

Soluções relacionadas: Medidas de recuperação e aproveitamento do biogás/biometano gerado em aterros sanitários, Universalização da Água e Esgoto.

Considerações para futuras edições do IEGEE no Rio Grande do Sul

Considerando os desafios encontrados para a realização deste estudo – especialmente no que se refere à disponibilidade de dados primários e secundários sobre as emissões e os setores analisado – destacam-se algumas medidas que contribuem para o fortalecimento dos próximos inventários:

Organizar e sistematizar os dados das atividades emissoras, de maneira a criar e manter um banco de dados estruturado e atualizado periodicamente. Tal medida permitirá melhorar a qualidade técnica das informações e reduzir as lacunas nas estimativas.

Investir em pesquisas e publicações científicas e fortalecer as parcerias com instituições de ensino superior. Isso fomentará a inovação e aumentará a qualidade técnica aos dados estaduais relacionados aos setores de emissão, contribuindo não apenas para os inventários, como também para o aprimoramento das ações de mitigação e adaptação.

Fortalecer a relação entre o governo e as indústrias locais, tanto na coleta de dados, quanto no envolvimento na implementação da agenda climática regional. Podem ser estabelecidos mecanismos para obter os inventários organizacionais já desenvolvidos ou para o compartilhamento de métodos de coleta de dados das atividades, ampliando a compreensão sobre as emissões do estado.

A elaboração do Inventário de Gases de Efeito Estufa do Rio Grande do Sul consolida um marco técnico-científico para o Estado, oferecendo bases sólidas para decisões em políticas públicas, transição energética e resiliência climática.

Os resultados aqui apresentados reforçam o compromisso do governo gaúcho com a transparência climática e a governança multissetorial, orientando o aprimoramento contínuo de instrumentos como o ProClima 2050 e a Conformidade Climática Estadual.

A partir deste diagnóstico, o Rio Grande do Sul reafirma seu papel de liderança subnacional no enfrentamento das mudanças climáticas e na construção de um futuro de baixo carbono e mais justo para suas populações e territórios.

REFERÊNCIAS

ABRACAL - Associação Brasileira dos Produtos de Calcário Agrícola. **Consumo aparente de Calcário**. s.d. Disponível em: <https://abracal.com.br/site/estatisticas/>

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas Esgoto**. Brasília: s.d. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/atlasaguas/>

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Vendas, pelas distribuidoras, dos derivados combustíveis de petróleo (m³): gasolina C e etanol hidratado por segmento e Unidade da Federação – 2012-2025**. Superintendência de Defesa da Concorrência, 2025.

BERKELEY EARTH. **Data Overview**. Berkeley, s.d. Disponível em: <https://berkeleyearth.org/data/>

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 - Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Brasília, 2010. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil; Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. 2025. **Atlas Digital de Desastres no Brasil – gráficos interativos**. Disponível em: <https://atlasdigital.mdr.gov.br/paginas/graficos.xhtml>

CANTO, A. C. B. do; FONTANA, A.; CESÁRIO, F. V.; FIGUEIREDO, L. G. E. de; CHEAUZU, H. **Organossolos e outros solos com horizontes orgânicos no Brasil: abrangência e área manejada entre os anos de 1994 a 2020**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2020. Disponível em: www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=1122074&biblioteca=vazio&busca=1122074&qFacets=1122074&sort=&paginaAtual=1

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

DEPARTAMENTO DE ENERGIA/SEMA - Departamento de Energia da Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Infraestrutura. **Balço Energético Anual do Rio Grande do Sul (2018-2023)**. Porto Alegre, 2025.

DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA (DEE-SPGG). **Impactos socioeconômicos dos eventos climáticos extremos de 2024 no Rio Grande do Sul: uma análise após um ano do desastre**. Mariana Lisboa Pessoa (coord.); Gabriele dos Anjos; Guilherme Gaspar de Freitas Xavier Sobrinho; Martinho Roberto Lazzari; Ricardo César Gadelha de Oliveira Júnior. Porto Alegre: DEE-SPGG, abr. 2025.

DEE-SPGG. **DEEDADOS: Agricultura - culturas temporárias**. Porto Alegre, s.d. Disponível em: <http://feedados.fee.tche.br/feedados>

DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO - DETRAN RS. **Frota em circulação no RS. [s.d.]**. Secretaria da Segurança Pública. Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://www.detrans.rs.gov.br/>

ECOFINANCE; ICLEI. **Cadeias Produtivas do Estado do Rio Grande do Sul: Mapeamento das emissões e remoções de Gases de Efeito Estufa**. Porto Alegre: 2025.

EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Sources of Greenhouse Gas Emissions**. Washington D.C., 2020. Disponível em: <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2022**. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>

FEPAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL. **Resíduos destinados por tecnologia (2018 a 2023)**. Porto Alegre, 2025.

FIERGS – FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Identificação de estabelecimentos industriais**. Unidade de Estudos Econômicos. Observatório da Indústria do RS. Porto Alegre: FIERGS, 2025.

FUNAI - FUNDAÇÃO NACIONAL DOS POVOS INDÍGENAS. **Terras indígenas – Lista por Estado: Rio Grande do Sul**. 2025. Disponível em: http://sii.funai.gov.br/funai_sii/informacoes_indigenas/visao/visao_terras_indigenas_lista_wsp?tmp.uf_codigo=23&tmp.terrai_codigo=&tmp.etnia_codigo=&tmp.coord_codigo=&tmp.mun_codigo=&tmp.fase_codigo=

GOVERNO DO RS. **Com sinais de recuperação após enchentes, PIB do RS registra variação de -0,3% no terceiro trimestre de 2024**. Porto Alegre, 2024a. Disponível em: <https://www.Estado.rs.gov.br/com-sinais-de-recuperacao-apos-enchentes-pib-do-rs-registra-variacao-de-0-3-no-terceiro-trimestre-de-2024>

GOVERNO DO RS. **Resultados do PIB do Rio Grande do Sul em 2022**. Porto Alegre, 2024b. Disponível em: <https://dee.rs.gov.br/upload/arquivos/202411/14101805-nt-dee-101-resultados-do-pib-do-rio-grande-do-sul-em-2022.pdf>

GOVERNO DO RS. **Geografia**. Porto Alegre, s.d. Disponível em: <https://www.Estado.rs.gov.br/geografia#:~:text=A%20m%C3%A9dia%20anual%20varia%20entre,a%20mais%20de%202.000%20mil%C3%ADmetros>

GOVERNO DO RS. **IBGE apresenta dados revisados do PIB de 2020, quando estiagem e pandemia impactaram desempenho do RS**. Porto Alegre, 16 nov. 2022. Disponível em: <https://estado.rs.gov.br/ibge-apresenta-dados-revisados-do-pib-de-2020-quando-estiagem-e-pandemia-impactaram-desempenho-do-rs>

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. **Histórico de Desempenho**. Brasília, s.d. Disponível em: <https://www.iba.org/historico-de-desempenho#celulose-1>

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Diretoria de Geociências. **Mapa de clima do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

IBGE. **Biomás e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil**. Rio de Janeiro, 2019.

IBGE. **Contas Regionais: Evolução do PIB do Brasil e do Rio Grande do Sul, em R\$ mil (2011–2021)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Meio Ambiente. **Áreas urbanizadas do Brasil: 2019**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

IBGE. **Censo 2022: População e Domicílios - Primeiros Resultados**. Rio de Janeiro, 2023a.

IBGE. **Cidade e Estados**. Rio de Janeiro, 2023b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-Estados/rs.html>

IBGE. **Área territorial brasileira: 2023**. Rio de Janeiro, 2024a.

IBGE. **PNAD Contínua - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua Anual**. Rio de Janeiro, 2024b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/17270-pnad-continua.html>

IBGE. **Produto Interno Bruto - PIB**. Rio de Janeiro, 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>

ICLEI; Programa Cidades Sustentáveis. **Guia de Ação Local pelo Clima**. São Paulo, 2016. Disponível em: cidadessustentaveis.org.br/arquivos/Publicacoes/Acao_Local_pelo_Clima.pdf

ICLEI – GOVERNOS LOCAIS PELA SUSTENTABILIDADE. Rio Grande do Sul. São Paulo: ICLEI América do Sul, 2025. Disponível em: <https://americadosul.iclei.org/associados/rio-grande-do-sul/>

IEMA - Instituto de Energia e Meio Ambiente. **Inventário de Emissões Atmosféricas em Usinas Termelétricas: geração de eletricidade, emissões e lista de empresas proprietárias das termelétricas a combustíveis fósseis e de serviço público do Sistema Interligado Nacional**. São Paulo, 2022.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Database on Greenhouse Gas Emission Factors (IPCC-EFDB)**. Geneva, s.d. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php>

IPCC. Frequently Asked Question 1.3: What is the Greenhouse Effect?. In: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [SOLOMON, S. et al. (eds.)]. Cambridge (Reino Unido) e Nova Iorque (EUA): Cambridge University Press, 2007. Disponível em: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/faq-1-3.html

IPCC. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Switzerland, 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>

IPCC. **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, 2013a. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>

IPCC. Annex III: Glossary [PLANTON, S. (ed.)]. In: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [STOCKER, T. F. et al. (eds.)]. Cambridge (Reino Unido) e Nova Iorque (EUA): Cambridge University Press, 2013b. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp, 2014. Disponível em: https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_All_Topics.pdf

IPCC. **2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: volumes 1 to 5**. CALVO BUENDIA, E. et. al. (ed.). Switzerland: IPCC, 2019. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>

IPCC. **About the IPCC: Overview**. Switzerland: IPCC, 2020. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/about/>

IPCC. **Summary for Policymakers**. In: **Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001. Versão traduzida por MCTI e Pacto Global da ONU. Brasília, 2023. Disponível em: www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy_of_IPCC_Longer_Report_2023_Portugues.pdf

IPCC. **IPCC Global Warming Potential Values**. Version 2.0, 7 ago. 2024. Disponível em: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2024-08/Global-Warming-Potential-Values%20%28August%202024%29.pdf>

IRGA - Instituto Rio Grandense do Arroz. **Boletim De Resultados Da Lavoura - Safra 2018/19 – Arroz Irrigado Soja Em Rotação**. Porto Alegre: 2019.

IRGA. **Boletim De Resultados Da Lavoura - Safra 2019/20 – Arroz Irrigado E Soja Em Rotação**. Porto Alegre: 2020.

IRGA. **Boletim De Resultados Da Lavoura - Safra 2020/21 – Arroz Irrigado E Soja Em Rotação**. Porto Alegre: 2021.

IRGA. **Boletim De Resultados Da Lavoura - Safra 2021/22 – Arroz Irrigado E Soja Em Rotação**. Porto Alegre: 2022.

IRGA. **Boletim De Resultados Da Lavoura - Safra 2022/23 – Arroz Irrigado E Soja Em Rotação**. Porto Alegre: 2023.

IRGA. **Boletim De Resultados Da Lavoura - Safra 2023/24 – Arroz Irrigado E Soja Em Rotação**. Porto Alegre: 2024.

LEUSIN JÚNIOR, S.; FEIX, R. D.; PESSOA, M. L.; RISCO, G. **Painel do agronegócio do Rio Grande do Sul – 2024**. Porto Alegre: SPGG, 2024.

MCTI - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília, 2020a. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/comunicacoes-nacionais-do-brasil-a-unfccc/arquivos/4comunicacao/4_com_nac_brasil_web.pdf

MCTI. **Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - Relatório de Referência: Setor de Energia**. Brasília, 2020b. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial/pdf/inventario4/energia.zip>

MCTI. **Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - Relatório de Referência: Setor de Resíduos**. Brasília, 2020c. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial/pdf/inventario4/rr_4cn_residuos_final_set2020.pdf

MCTI. **Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - Relatório de Referência: Setor de Agropecuária**. Brasília, 2021a. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial/pdf/inventario4/rr_agropecuaria_atualizado.zip

MCTI. **Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - Relatório de Referência: Setor de Processos Industriais e Uso de Produtos**. Brasília, 2021b. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial/pdf/inventario4/ippu-jan-21.zip>

MCTI. **Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - Relatório de Referência: Setor de Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas**. Brasília, 2021c. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial/pdf/inventario4/lulucf-jan21.zip>

MCTI. **Fatores de emissão MDL/SIN**. Brasília, [2022]. Disponível em: www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima - volume 2: estratégias setoriais e temáticas**. Brasília, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/biomas/arquivos-biomas/plano-nacional-de-adaptacao-a-mudanca-do-clima-pna-vol-ii.pdf>

MMA. **BRAZIL'S NDC. National determination to contribute and transform**. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/noticias/brasil-entrega-a-onu-nova-ndc-alinhada-ao-acordo-de-paris/brazils-ndc.pdf/>

MMA. CNUC – **Cadastro Nacional de Unidades de Conservação da Natureza: lista das UCs ativas no CNUC com respectivas categorias de manejo, área, esfera de governo, ano de criação e outras informações – 1º semestre de 2025**. Dados atualizados até mar. 2025. Catalogação: 15 maio 2025. Disponível em: <https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/unidadesdeconservacao>

PBMC - PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas** [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.)]. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 2016. Disponível em: https://ppgoceano.paginas.ufsc.br/files/2017/06/Relatorio_DOIS_v1_04.06.17.pdf

Painel Campo Futuro / CNA / CEPEA-Esalq / FARSUL. **Consumo de Fertilizante Ureia**. Porto Alegre: s.d.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. Piracicaba: Observatório do Clima, 2023. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/cobertura>

S2ID - **Sistema Integrado de Informações sobre Desastres**. Brasília: Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, 2025. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/>

SEAPI - Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. **Radiografia da Agropecuária Gaúcha 2018**. Porto Alegre: 2019.

SEAPI. **Radiografia da Agropecuária Gaúcha 2019**. Porto Alegre: 2020.

SEAPI. **Radiografia da Agropecuária Gaúcha 2020**. Porto Alegre: 2021.

SEAPI. **Radiografia da Agropecuária Gaúcha 2021**. Porto Alegre: 2022.

SEAPI. **Radiografia da Agropecuária Gaúcha 2022**. Porto Alegre: 2023.

SEAPI. **Radiografia da Agropecuária Gaúcha 2023**. Porto Alegre: 2024.

SEAPI. **Estoque de bovinos, 2018 a 2023, Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: 2025a.

SEAPI. **Estoque de suínos, 2018 a 2023, Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: 2025b.

SEBRAE. **Explorador de Complexidade Econômica – Observatório DataMPE Brasil**. Brasília: Sebrae, 2022. Disponível em: <https://datampe.sebrae.com.br/economic-complexity>

SEEG - SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. **Nota metodológica do Sistema de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa no Brasil (1970-2022): Agropecuária**. Piracicaba: Observatório do Clima, 2023a.

SEEG. **Nota metodológica do Sistema de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa no Brasil (1970-2022): Energia**. Piracicaba: Observatório do Clima, 2023b.

SEEG. **Nota metodológica do Sistema de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa no Brasil (1970-2022): Processos Industriais e Uso de Produtos**. Piracicaba: Observatório do Clima, 2023c.

SEEG. **Nota metodológica do Sistema de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa no Brasil (1970-2022): MUT**. Piracicaba: Observatório do Clima, 2023d.

SEEG. **Nota metodológica do Sistema de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa no Brasil (1970-2022): Resíduos**. Piracicaba: Observatório do Clima, 2023e.

SEEG. **Coleção 12_Rio Grande do Sul: Setor Mudança de Uso da Terra e Floresta**. Piracicaba: Observatório do Clima, 2024. Disponível em: <https://seeg.eco.br/>

SEMA - Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Infraestrutura. **PLANESAN-RS: Plano Estadual de Saneamento do Rio Grande do Sul - relatório preliminar**. Porto Alegre: 06 de outubro de 2022. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/planesan>

SEMA. **PROCLIMA2050: estratégias para o enfrentamento das mudanças climáticas do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: versão001/2024. Disponível em: <https://www.proclima2050.rs.gov.br/upload/arquivos/202404/11130802-am-0001-23-plano-de-ac-a-o-clima-tica-digital-a4-3-1.pdf>

SEMA. **RS tem queda de 55% no desmatamento em 2023, aponta MapBiomias**. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/rs-tem-queda-de-55-no-desmatamento-em-2023-aponta-mapbiomas?form=MG0AV3>

SIDRA - SISTEMA IBGE DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA. **Pesquisa da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/tabelas>

SIDRA. **Produção Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023b. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>

SIDRA. **Pesquisa Industrial Anual - Produto**. Rio de Janeiro, s.d. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pia-produto/referencias/brasil/2022>

SNIC - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Produção anual de cimento portland, segundo Estados e regiões**. São Paulo, s.d.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Série Histórica - informações e indicadores municipais consolidados. Brasília: 2023. Disponível em: <https://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>

SNIS. **Tabelas**. In: Diagnóstico Temático - Serviços de Água e Esgoto. Brasília: 2024a. Disponível em: www.gov.br/cidades/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis

SNIS. **Tabelas**. In: Diagnóstico Temático - Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos. Brasília: 2024b. Disponível em: www.gov.br/cidades/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis

SINISA - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO BÁSICO. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2023: Planilha de Indicadores**. Brasília: 2025a. Disponível em: www.gov.br/cidades/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/resultados-sinisa

SINISA. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2023: Planilha de Infraestrutura - Disposição Final - Quantidades recebidas**. Brasília: 2025b. Disponível em: www.gov.br/cidades/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/resultados-sinisa

SINISA. **Módulo Esgotamento Sanitário: Indicadores de Atendimento**. Brasília: 2025c. Disponível em: www.gov.br/cidades/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/resultados-sinisa

SPGG - SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, GOVERNANÇA E GESTÃO. SUBSECRETARIA DE PLANEJAMENTO. **Nota Técnica n.º 84: Resultados do PIB do Rio Grande do Sul em 2021**. Departamento de Economia e Estatística. Porto Alegre, 17 nov. 2023. Disponível em: <https://dee.rs.gov.br/upload/arquivos/202311/17103525-nt-dee-84-resultados-do-pib-do-rio-grande-do-sul-em-2021-1.pdf>

SPGG. **Nota Técnica n.º 96: Estrutura produtiva e indicadores da produção industrial no Rio Grande do Sul de 2002 a 2022**. Departamento de Economia e Estatística. Porto Alegre, 24 jul. 2024. Disponível em: <https://www.dee.rs.gov.br/upload/arquivos/202410/23173115-16092912-nt-dee-96-estrutura-produtiva-e-indicadores-da-producao-industrial-no-rio-grande-do-sul-de-2002-a-2022-1.pdf>

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME; GRID-Arendal. **Wastewater – Turning Problem to Solution**. A UNEP Rapid Response Assessment, 2023. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/43142>

UNFCCC - UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Clean Development Mechanism - CDM**. s.d. Disponível em: <https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>

UNFCCC. **Resource Guide for Preparing the National Communications of Non-Annex I Parties. Module 3: National Greenhouse Gas Inventories**. 2009. Disponível em: https://unfccc.int/resource/docs/publications/09_resource_guide3.pdf

UNFCCC. **Fact sheet: Climate change science - the status of climate change science today**. Fev. 2011. Disponível em: unfccc.int/files/press/backgrounders/application/pdf/press_factsh_science.pdf

UNICA - União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia. **UnicaData - Observatório da cana e bioenergia. História de produção e moagem**. Brasília: s.d.

WMO. **WMO confirms 2024 as warmest year on record at about 1.55 °C above pre-industrial level**. Press release, 10 jan. 2025. Disponível em: <https://wmo.int/news/media-centre/wmo-confirms-2024-warmest-year-record-about-155degc-above-pre-industrial-level>

WWF BRASIL. **Efeito estufa e mudanças climáticas**. Disponível em: https://www.wwf.org.br/nossosconteudos/conceitos/_efeitoestufa_e_mudancasclimaticas/

ANEXO I – Fontes de Dados

A etapa de coleta de dados de atividades é 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 modelos de ofícios para que representantes do Estado pudessem encaminhar aos detentores de dados, quando os dados não são públicos.

Além de dados de entrada importantes para o inventário, também foram solicitadas informações adicionais que serão relevantes para a quantificação das emissões, como fatores de emissão específicos para as atividades no Rio Grande do Sul.

Os quadros A1 a A5 apresentam quais informações foram obtidas, bem como a fonte dos dados para os setores de Agricultura, LULUCF, Energia, Resíduos e IPPU.

AGROPECUÁRIA

Quadro A1: Atividades fontes de emissão para o setor de Agropecuária

Categoria	Atividade fonte de emissão ou informações adicionais	Fonte
Fermentação Entérica, Manejo de Dejetos	Rebanho bovino	SEAPI, 2025a
	Rebanho suíno	SEAPI, 2025b
	Rebanhos de galináceos, codornas, ovinos, caprinos, bubalinos, equinos e muarens	SIDRA-IBGE, 2023a; SEAPI, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024
Manejo de Solos Agrícolas	Calcário consumido	ABRACAL
	Outros fertilizantes sintéticos consumidos	Painel Campo Futuro / CNA / CEPEA-Esalq / FARSUL, s.d.
	Ureia consumida	
	Fertilizantes orgânicos	SEAPI, 2025a; SEAPI, 2025b; UNICA, s.d.
	Área colhida e rendimento da produção de: feijão, milho, soja, trigo, mandioca, melão, melancia, cebola, tomate, sorgo, amendoim, abacaxi, alho, aveia, batata-doce, batata-inglesa, centeio, cevada, ervilha, fava, fumo, girassol, linho e triticales	SIDRA-IBGE, 2023b; SEAPI, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024
	Cobertura do solo: pastagem	Projeto MapBiomas, 2024
	Área de pastagem	
Área de silvicultura	CANTO, A. C. B. do; FONTANA, A.; CESÁRIO, F. V.; FIGUEIREDO, L. G. E. de; CHEAUZU, H., 2020	
Área agrícola		

Manejo de Solos Agrícolas, Queima de Resíduos Agrícolas	Área colhida, produtividade e produção de cana-de-açúcar	SIDRA-IBGE, 2023b
Manejo de Solos Agrícolas, Cultivo de Arroz	Área colhida e rendimento da produção de arroz em casca	SIDRA-IBGE, 2023b; SEAPI, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024; IRGA, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

LULUCF

Quadro A2: Atividades fontes de emissão para o setor de LULUCF

Categoria	Fonte
Alteração do uso da terra	SEEG, 2024; Mapbiomas, 2024
Carbono orgânico no solo	
Remoção em áreas protegidas	
Remoção por mudança de uso da terra	SEEG, 2024
Remoção por vegetação secundária	
Resíduos florestais	
Remoções por produtos florestais madeireiros	Ecofinance; ICLEI, 2025.

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

ENERGIA

Quadro A3: Atividades fontes de emissão para o setor de Energia

Subsetor	Atividade fonte de emissão ou informações adicionais
Queima de combustíveis fósseis	Consumo de biodiesel na agropecuária e nas indústrias de transformação e de construção
	Transformação de biodiesel pelas indústrias de energia
	Consumo de carvão mineral nas indústrias de transformação e de construção
	Transformação de carvão mineral pelas indústrias de energia
	Consumo de carvão vegetal nas indústrias de transformação e de construção e em residências

Sema; Balanço Energético Estadual de 2018 a 2023

Subsetor	Atividade fonte de emissão ou informações adicionais	
Queima de combustíveis fósseis	Consumo de casca de arroz nas indústrias de transformação e de construção	Sema; Balanço Energético Estadual de 2018 a 2023
	Transformação de casca de arroz pelas indústrias de energia	
	Consumo de eletricidade na Agropecuária, nas indústrias de transformação e de construção, em comércios, prédios públicos, residências e nas indústrias de energia	
	Transformação de eletricidade pelas indústrias de energia	
	Transformação de energia eólica pelas indústrias de energia	
	Transformação de energia hídrica pelas indústrias de energia	
	Transformação de energia solar fotovoltaica pelas indústrias de energia	
	Consumo de gás natural nas indústrias de transformação e de construção e nos comércios	
	Transformação de gás natural pelas indústrias de energia	
	Consumo de GLP na Agropecuária, nas indústrias de transformação e de construção, nos comércios, nos prédios públicos, nas residências e nas indústrias de energia	
	Consumo de lenha na Agropecuária, nas indústrias de transformação e de construção, nos comércios e nas residências	
	Transformação de lenha pelas indústrias de energia	
	Consumo de óleo combustível nas indústrias de transformação e de construção, em comércios, prédios públicos e nas indústrias de energia	
	Transformação de óleo combustível pelas indústrias de energia	
	Consumo de óleo diesel na Agropecuária e nas indústrias de transformação e de construção	
	Transformação de óleo diesel pelas indústrias de energia	
	Consumo de lixívia nas indústrias de transformação e de construção	
	Transformação de lixívia pelas indústrias de energia	
	Consumo de produtos da cana-de-açúcar nas indústrias de energia	
	Consumo de querosene iluminante nas indústrias de transformação e de construção, em comércios e nas indústrias de energia	
Consumo de outros derivados energéticos do petróleo nas indústrias de energia		
Consumo de álcool etílico anidro no transporte rodoviário		

Queima de combustíveis fósseis	Consumo de álcool etílico hidratado no transporte rodoviário	Sema; Balanço Energético Estadual de 2018 a 2023
	Consumo de biodiesel na aviação civil e nos transportes ferroviário, hidroviário e rodoviário	
	Consumo de eletricidade na aviação civil e nos transportes ferroviário, hidroviário e rodoviário	
	Consumo de gás natural no transporte rodoviário	
	Consumo de gasolina no transporte rodoviário	
	Consumo de GLP na aviação civil e nos transportes hidroviário e rodoviário	
	Consumo de óleo diesel na aviação civil e nos transportes ferroviário, hidroviário e rodoviário	
	Consumo de querosene de aviação na aviação civil	
Emissões Fugitivas	Emissões fugitivas de carvão mineral nas indústrias de energia	Sema; Balanço Energético Estadual de 2018 a 2023
	Emissões fugitivas de gás natural nas indústrias de energia	
	Emissões fugitivas de petróleo em indústrias de energia	

Fonte: Departamento de Energia - SEMA, 2025.

RESÍDUOS

Quadro A4: Atividades fontes de emissão para o setor de Resíduos

Subsetor	Atividade fonte de emissão ou informações adicionais	Fonte
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) e por tipo de unidade de processamento	SNIS, 2024b; SINISA, 2025b
	Volume de Resíduos sólidos coletados e encaminhados para a disposição final dentro do Estado (coleta per capita x Pop. urbana)	SNIS, 2024b; SINISA, 2025b
	Quantidade de metano recuperado	UNFCCC, s.d.
	População total e população urbana	SNIS, 2024b; SINISA, 2025b
	Composição gravimétrica	SEMA, 2022
Tratamento biológico de resíduos sólidos	Massa total destinada para tratamento biológico	SNIS, 2023; SINISA (2025a, 2025b, 2025c)
	Compostagem	FEPAM, 2025

Subsetor	Atividade fonte de emissão ou informações adicionais	Fonte
Incineração e queima a céu aberto de resíduos sólidos	Quantidade de resíduos de serviços de saúde encaminhados para a incineração	FEPAM, 2025
	Fração da população que queima seus resíduos a céu aberto	IBGE, 2024b
Tratamento e despejo de águas residuárias domésticas	População atendida e tipos de Sistemas de tratamento de esgoto sanitário operado	SNIS, 2024a; SINISA, 2025c
	Moradores por tipo de esgotamento	IBGE, 2024a
	População total	SNIS, 2024a; SINISA, 2025c
	Quantidade de ETEs	ANA, s.d.
Tratamento e despejo de águas residuárias industriais	Produção de celulose	Ibá, s.d.
	Produção de carne bovina, de aves e de suínos	SIDRA, 2023a
	Produção de leite cru e de leite pasteurizado	SIDRA, 2023a; SIDRA, s.d.

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

IPPU

Quadro A5: Atividades fontes de emissão para o setor de IPPU

Categoria	Atividade fonte de emissão ou informações adicionais	Fonte
Minerais	Produção de cimento	SNIC, s.d.
Metais	Produção de aço	Indústrias presentes no Estado
Química	Outros processos industriais	Indústrias presentes no Estado
Uso não energético de produtos derivados de petróleo		Departamento de Energia - SEMA, 2025

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

ANEXO II – Fatores de Emissão

Nesta seção são apresentados os fatores de emissão (FE) utilizados no Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado do Rio Grande do Sul, que 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 e Estados, como os providos

pelo MCTI (2020a, 2020b, 2021a, 2021b, 2021c), para a elaboração do Inventário Nacional de Emissões e Remoções antrópicas.

As Tabelas B1 a B7 com os FE utilizados neste inventário estão divididas de acordo com os quatro setores de emissões inventariados, passando pelos setores e subsetores de Agropecuária, LULUCF, Energia, Resíduos e IPPU, com suas respectivas fontes.

AGROPECUÁRIA

Tabela B1: Fatores de emissão de GEE para o subsetor de Agropecuária

Fermentação Entérica		
Atividade	FE (kg de CH ₄ /cabeça)	Fonte
Bovinos de leite de alta produção	95	MCTI, 2021a
Bovinos de leite de baixa produção	91	
Bovinos de corte / menores que 1 ano	34	
Bovinos de corte / de 1 a 2 anos	52	
Bovinos de corte / touros	71	
Bovinos de corte / machos de corte > 2 anos (não confinados)	64	
Bovinos de corte / fêmeas de corte > 2 anos (não confinados)	79	
Bovinos de corte / outros animais > 2 anos (confinados)	63	
Ovinos	5	
Suínos	1	
Asininos	10	
Muare	10	

Fermentação Entérica		
Atividade	FE (kg de CH ₄ /cabeça)	Fonte
Bubalinos	55	V4_Ch10 tabela 10.14 e 10.15 (IPCC, 2006)
Caprinos	5	
Equinos	18	

Fonte: IPCC, 2006; MCTI, 2021a

Manejo de Dejetos Animais		
Atividade	FE (kg de CH ₄ /cabeça)	Fonte
Bovinos de leite de alta produção	27,9	MCTI, 2021a
Bovinos de leite de baixa produção	3,4	
Bovinos de corte / menores que 1 ano	0,8	
Bovinos de corte / de 1 a 2 anos	0,9	
Bovinos de corte / fêmeas de corte > 2 anos (não confinadas)	1,4	
Bovinos de corte / outros animais > 2 anos (confinados)	2,9	
Suínos Reprodutores/Industrial	13	
Suínos Reprodutores/Subsistência	1	
Suínos em aleitamento creche/Industrial	6,2	
Suínos em aleitamento creche/Subsistência	0,5	
Suínos em terminação/Industrial	8,2	
Suínos em terminação/Subsistência	0,7	
Galinhas poedeiras	0,02	
Pintos, frangos e galos	0,02	
Codornas	0,02	
Caprinos	0,17	
Ovinos	0,15	
Bubalinos	1	
Equinos	1,64	

Fonte: IPCC, 2006; MCTI, 2021a

Manejo de Solos Agrícolas: Fertilizantes sintéticos				
Atividade	FE direta (kg N ₂ O /kg N do fertilizante/ano)	FE indireta volatilização (kg N ₂ O /kg N do fertilizante/ano)	FE indireta lixiviação (kg N ₂ O /kg N do fertilizante/ ano)	Fator de emissão (kg N ₂ O /kg N do fertilizante/ano)
Ureia e Outras fontes	0,01	0,003	0,00225	1,571429

Fonte: MCTI, 2021a

Manejo de Solos Agrícolas: Uso de adubos/fertilizantes orgânicos			
Atividade	FE direta (kg N ₂ O/ cabeça/ano)	FE indireta volatilização (kg N ₂ O/ cabeça/ano)	FE indireta lixiviação (kg N ₂ O/ cabeça/ano)
Bovinos de leite de alta produção	0,058	0,031	0,034
Bovinos de leite de baixa produção	0,089	0,046	0,000
Bovinos de corte / menores que 1 ano	-	-	-
Bovinos de corte / de 1 a 2 anos	-	-	-
Bovinos de corte / fêmeas de corte > 2 anos (não confinadas)	-	-	-
Bovinos de corte / outros animais > 2 anos (confinados)	0,289	0,058	0,065
Suínos Reprodutores/Industrial	0,134	0,024	0,027
Suínos Reprodutores/Subsistência	0,020	0,004	0,005
Suínos em aleitamento creche/Industrial	0,017	0,003	0,003
Suínos em aleitamento creche/Subsistência	0,002	-	0,001
Suínos em terminação/Industrial	0,095	0,017	0,019
Suínos em Subsistência	0,014	0,003	0,003
Galinhas poedeiras	0,004	0,001	0,001
Pintos, frangos e galos	0,003	0,001	0,001
Codornas	-	-	-
Caprinos	-	-	-
Ovinos	-	-	-
Bubalinos	-	-	-
Equinos	-	-	-

Fonte: MCTI, 2021a

Manejo de Solos Agrícolas: Uso de Adubos/Fertilizantes orgânicos				
Atividade	FE direta (kg N ₂ O / kg N do fertilizante/ano)	FE indireta volatilização (kg N ₂ O / kg N do fertilizante/ano)	FE indireta lixiviação (kg N ₂ O / kg N do fertilizante/ano)	Outras informações
Torta-filtro	0,01	0,002	0,00225	Conversão N para N ₂ O = 1,571429
Vinhaça	0,0052	-	0,00225	Fator de lixiviação no RS = 100%

Fonte: MCTI, 2021a

Manejo de Solos Agrícolas: Dejetos Animais Depositados Diretamente no Solo			
Atividade	FE direta (kg N ₂ O/ cabeça/ano)	FE indireta volatilização (kg N ₂ O/ cabeça/ano)	FE indireta lixiviação (kg N ₂ O/ cabeça/ano)
Bovinos de leite de alta produção	1,673	0,223	0,251
Bovinos de leite de baixa produção	1,474	0,197	0,221
Bovinos de corte / menores que 1 ano	0,393	0,052	0,059
Bovinos de corte / de 1 a 2 anos	0,706	0,094	0,106
Bovinos de corte / fêmeas de corte > 2 anos (não confinadas)	0,793	0,106	0,119
Bovinos de corte / outros animais > 2 anos (confinados)	0,000	0,000	0,000
Suínos Reprodutores/Industrial	0,000	0,000	0,000
Suínos Reprodutores/Subsistência	0,480	0,048	0,054
Suínos em aleitamento creche/Industrial	0,000	0,000	0,000
Suínos em aleitamento creche/Subsistência	0,059	0,006	0,007
Suínos em terminação/Industrial	0,000	0,000	0,000
Suínos em Subsistência	0,338	0,034	0,038
Galinhas poedeiras	0,000	0,000	0,000
Pintos, frangos e galos	0,000	0,000	0,000
Codornas	0,000	0,000	0,000
Caprinos	0,181	0,036	0,041
Ovinos	0,095	0,019	0,021
Bubalinos	1,395	0,139	0,157
Equinos	0,628	0,126	0,141

Fonte: MCTI, 2021a

Manejo de Solos Orgânicos	
Precursor	FE direta (kg N ₂ O / ha)
Manejo agrícola e de pastagem, temperado	8
Floresta Plantada, temperado	0,6

Fonte: MCTI, 2021a

Calagem e Aplicação de Ureia	
Atividade	FE direta (kg C-CO ₂ /kg ureia ou calcário)
Aplicação de ureia	0,2
Uso de calcário dolomítico	0,13

Fonte: MCTI, 2021a

Manejo de Resíduos Agrícolas			
Atividade	FE direta (kg N ₂ O / ha)	FE indireta lixiviação (kg N ₂ O / ha)	Outras informações
Resíduos de cultura e renovação de pastagem	0,01	0,00225	Fator de lixiviação no RS = 100%

Fonte: MCTI, 2021a

Cultivo de arroz por região produtora						
Região	FE CH ₄ (kg/ha/dia) POR ANO					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Campanha	2,61	2,72	2,87	2,93	2,88	2,97
Central	2,42	2,65	2,78	2,81	2,68	2,76
Fora da Região produtora	2,52	1,67	1,65	1,66	1,59	1,62
Fronteira Oeste	2,93	2,75	2,96	3,09	2,85	3,00
Planície Costeira Externa	2,62	2,61	2,62	2,74	2,76	2,85
Planície Costeira Interna	2,46	2,65	2,67	2,80	2,77	2,79
Zona Sul	2,42	2,91	3,02	3,09	3,05	3,11

Fonte: Ecofinance; ICLEI apud MCTI, 2021a

Queima de Resíduos Agrícolas			
Atividade	FE CH ₄ (t/ha)	FE N ₂ O (t/ha)	Outras informações
Queima de cana-de-açúcar	0,93	0,07	Relação palhiço/colmo = 0,187 Fator de combustão = 0,80

Fonte: MCTI, 2021a

LULUCF

Para os cálculos em LULUCF não são utilizados fatores de emissão e sim os estoques e incremento de carbono presentes no solo por tipo de uso, conforme as tabelas apresentadas nas Notas Metodológicas em SEEG (2023d).

ENERGIA

Tabela B2: Densidades e poder calorífico inferior (PCI)

Precursor	Densidade (kg/m³)	PCI (kcal/kg)
Biodiesel (B100)	880	9.000
Etanol Anidro	791	6.750
Etanol Hidratado	809	6.300
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	552	11.100
Gás Natural Veicular (GNV)	0,74	8.800
Gasolina Automotiva	742	10.400
Gasolina de Aviação	726	10.600
Óleo Diesel	840	10.100
Querosene de aviação	799	10.400

Fonte: EPE, 2022

Tabela B3: Fatores de emissão de GEE para o setor de Energia

Fonte Energética	Atividade	CO ₂ (kg GEE/TJ)	CH ₄ (kg GEE/TJ)	N ₂ O (kg GEE/TJ)	CO ₂ biogênico (kg GEE/TJ)
Álcool Etílico Anidro	Transporte rodoviário	0	19,91	6,13	70800
Álcool Etílico Hidratado	Transporte rodoviário	0	19,91	6,13	70800
Biodiesel	Aéreo	0	4,15	28,6	70800
Biodiesel	Agropecuária	0	1	0,6	70800
Biodiesel	Centrais Elétricas Autoprodutoras	0	4	0,6	70800
Biodiesel	Mineração e Pelotização	0	4	0,6	70800
Biodiesel	Transporte ferroviário	0	4,15	28,6	70800

Biodiesel	Transporte hidroviário	0	7	2	70800
Biodiesel	Transporte rodoviário	0	4,15	28,6	70800
Carvão mineral	Alimentos e Bebidas	96100	10	1,5	0
Carvão mineral	Centrais Elétricas de Serviço Público	96100	1	1,5	0
Carvão mineral	Cerâmica	96100	10	1,5	0
Carvão mineral	Cimento	96100	10	1,5	0
Carvão mineral	Mineração e Pelotização	96100	10	1,5	0
Carvão mineral	Não Ferrosos e Outras Metalurgias	96100	10	1,5	0
Carvão mineral	Outras indústrias	96100	10	1,5	0
Carvão mineral	Papel e Celulose	96100	1	0,7	0
Carvão mineral	Produção de carvão mineral	0	91,61	0	0
Carvão mineral	Química	96100	10	1,5	0
Carvão mineral	Têxtil	96100	10	1,5	0
Carvão vegetal	Carvoaria	0	200	4	106520
Carvão vegetal	Outras indústrias	0	200	4	106520
Carvão vegetal	Residencial	0	275	1,6	106520
Casca de arroz	Alimentos e Bebidas	0	30	4	100000
Casca de arroz	Centrais Elétricas Autoprodutoras	0	30	4	100000
Gás natural	Alimentos e Bebidas	56100	1	1	0
Gás natural	Centrais Elétricas Autoprodutoras	56100	1,1	0,1	0
Gás natural	Centrais Elétricas de Serviço Público	56100	1,1	0,1	0
Gás natural	Cerâmica	56100	1	1	0
Gás natural	Comercial	56100	1	1	0
Gás natural	Ferro Gusa e Aço	56100	1	1,5	0
Gás natural	Não Ferrosos e Outras Metalurgias	56100	1	1	0
Gás natural	Outras indústrias	56100	1	1	0

Fonte Energética	Atividade	CO ₂ (kg GEE/TJ)	CH ₄ (kg GEE/TJ)	N ₂ O (kg GEE/TJ)	CO ₂ biogênico (kg GEE/ TJ)
Gás natural	Papel e Celulose	56100	1	1	0
Gás natural	Química	56100	1	1	0
Gás natural	Refinarias de Petróleo	0	0	0	0
Gás Natural	Residencial	56100	1	1	0
Gás Natural	Setor energético	56100	1	1	0
Gás natural	Têxtil	56100	1	1	0
Gás natural	Transporte rodoviário	56100	0,5	0,07	0
Gasolina A	Refinarias de Petróleo	0	0	0	0
Gasolina A	Transporte rodoviário	69300	17,23	7,51	0
GLP	Aéreo	63100	1,1	0,1	0
GLP	Agropecuária	63100	1,1	0,1	0
GLP	Alimentos e Bebidas	63100	1	0,1	0
GLP	Cerâmica	63100	1	0,1	0
GLP	Cimento	63100	1	0,1	0
GLP	Comercial	63100	1,1	1	0
GLP	Ferro Gusa e Aço	63100	1	0,1	0
GLP	Mineração e Pelotização	63100	1	0,1	0
GLP	Não Ferrosos e Outras Metalurgias	63100	1	0,1	0
GLP	Outras indústrias	63100	1	0,1	0
GLP	Papel e Celulose	63100	1	0,1	0
GLP	Público	63100	1,1	1	0
GLP	Química	63100	1	0,1	0
GLP	Refinarias de Petróleo	0	0	0	0
GLP	Residencial	63100	1,1	1	0
GLP	Setor energético	63100	1,1	0,1	0

GLP	Têxtil	63100	0,9	4	0
GLP	Transporte hidroviário	63100	62	0,2	0
GLP	Transporte rodoviário	63100	4	0,6	0
Lenha	Agropecuária	0	11	7	95280
Lenha	Alimentos e Bebidas	0	11	7	95280
Lenha	Carvoaria	0	11	7	95280
Lenha	Centrais Elétricas Autoprodutoras	0	11	7	95280
Lenha	Cerâmica	0	11	7	95280
Lenha	Comercial	0	932	4	95280
Lenha	Outras indústrias	0	11	7	95280
Lenha	Papel e Celulose	0	11	7	95280
Lenha	Química	0	11	7	95280
Lenha	Residencial	0	932	9,06	95280
Lenha	Têxtil	0	11	7	95280
Óleo combustível	Alimentos e Bebidas	77400	3	0,3	0
Óleo combustível	Centrais Elétricas Autoprodutoras	77400	4	0,1	0
Óleo combustível	Centrais Elétricas de Serviço Público	77400	4	0,6	0
Óleo combustível	Cerâmica	77400	3	0,6	0
Óleo combustível	Comercial	77400	1,4	0,3	0
Óleo combustível	Ferro Gusa e Aço	77400	4	0,6	0
Óleo combustível	Mineração e Pelotização	77400	3	0,6	0
Óleo combustível	Não Ferrosos e Outras Metalurgias	77400	3	0,6	0
Óleo combustível	Outras indústrias	77400	3	0,6	0
Óleo combustível	Papel e Celulose	77400	3	0,3	0
Óleo combustível	Público	77400	1,4	0,3	0
Óleo combustível	Química	77400	3	0,3	0
Óleo combustível	Refinarias de Petróleo	0	0	0	0
Óleo combustível	Setor energético	77400	4	0,6	0

Fonte Energética	Atividade	CO ₂ (kg GEE/TJ)	CH ₄ (kg GEE/TJ)	N ₂ O (kg GEE/TJ)	CO ₂ biogênico (kg GEE/ TJ)
Óleo combustível	Têxtil	77400	3	0,3	0
Óleo diesel	Aéreo	74100	4,15	28,6	0
Óleo diesel	Agropecuária	74100	1,3	3,2	0
Óleo diesel	Centrais Elétricas Autoprodutoras	74100	4	0,1	0
Óleo diesel	Mineração e Pelotização	74100	3	0,6	0
Óleo diesel	Refinarias de Petróleo	0	0	0	0
Óleo diesel	Transporte ferroviário	74100	4,15	28,6	0
Óleo diesel	Transporte hidroviário	74100	7	2	0
Óleo diesel	Transporte rodoviário	74100	5,05	2,7	0
Lixívia	Centrais Elétricas Autoprodutoras	0	0,8	0,3	95300
Lixívia	Papel e Celulose	0	3	2	95300
Outros Deriv.	Refinarias de Petróleo	73300	3	0,6	0
Ñ Energ. Petróleo	Setor energético	73300	3	0,6	0
Outros Deriv. Energ. Petróleo	Refinarias de Petróleo	0	0	0	0
Petróleo	Setor energético	0	30	4	100000
Produtos da Cana de Açúcar	Aéreo	71500	0,03	1,98	0
Querosene de aviação	Refinarias de Petróleo	0	0	0	0
Querosene de aviação	Comercial	71900	10	0,6	0
Querosene iluminante	Outras indústrias	71900	3	0,6	0
Querosene iluminante	Química	71900	3	0,6	0
Querosene iluminante	Refinarias de Petróleo	0	0	0	0
Querosene iluminante	Setor energético	71900	0,9	0,4	0

Fonte: MCTI, 2020b.

RESÍDUOS

Tabela B4: Fatores de emissão de GEE para resíduos sólidos

Categoria	FE para CH ₄	FE para N ₂ O
Compostagem	4 (g CH ₄ /kg de resíduo)	0,24 (g N ₂ O/kg de resíduo)
Queima a céu aberto	6,5 (kg CH ₄ /t de resíduo)	0,15 (g N ₂ O/t de resíduo)
Incineração	0	100 (g N ₂ O/kt de resíduo)

Fonte: MCTI, 2020c.

Tabela B5: Fatores de emissão para tratamento e despejo de águas residuárias

Tipo de tratamento efluente	MCF (Methane Correction Factor)
Filtro Biológico	0,30
Valo de oxidação	0,30
Fossa séptica	0,50
Lodo Ativado	0,30
Reator Anaeróbio	0,80
Lagoa Anaeróbica	0,80
Lagoa Aeróbia	0,30
Lagoa Facultativa	0,30
Outros	0,50

Fonte: IPCC - Volume 5: Cap. 6, 2019

IPPU

Tabela B6: Fatores de emissão de GEE para o setor de IPPU

Processo	FE para CO ₂ (t)	Fonte
Produção de cimento	0,559	MCTI, 2021b
Produção de aço	0,96 em 2018 e 2019; 0,93 em 2020; 0,89 em 2021; 0,86 em 2022; 0,91 em 2023	Indústrias presentes no Estado

Fonte: MCTI, 2021b; ICLEI, 2025

Tabela B7: Uso não energético de produtos derivados de petróleo no setor de IPPU

Processo	Conversão de ktep para TJ	Fração emitida de C	FE para CO ₂ (t)	Conversão de C para CO ₂ (t)
Uso de alcatrão	41,838	25%	22	3,667

Fonte: MCTI, 2021b.

ANEXO III – Equações

Nesta seção são descritas algumas das fórmulas de cálculo, elaboradas por meio do IPCC (2006; 2019), que são utilizadas para estimar as emissões de cada setor incluído no inventário do Rio Grande do Sul.

De forma a simplificar o entendimento das equações utilizadas neste inventário, foram feitas adaptações de terminologias adotadas pelo IPCC

(2006, 2019) e pelos Relatórios de Referência Setorial (MCTI, 2020b, 2020c, 2021a, 2021b, 2021c) sem perder o conteúdo e rigor científico. Contou-se também com o apoio do formato de apresentação das equações nas Notas Metodológicas elaboradas pelo SEEG (2023a, 2023b, 2023c, 2023d, 2023e).

AGROPECUÁRIA

A produção animal emite CH₄ por meio da fermentação entérica, e ambos – CH₄ e N₂O – por meio 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 animal pelo fator de emissão correspondente, conforme indicado nas Equações 01 a 04.

Equação 01: Emissões de CH₄ por fermentação entérica

$$\text{Emissão CH}_4 = N_t \times FE_t \times 10^{-3}$$

Em que:

Emissão CH₄ = Total de emissão de CH₄, em toneladas

N_t = Números de animais (por cabeça), por categoria animal

FE_t = Fator de emissão de fermentação entérica (kg CH₄/cabeça/ano)

10⁻³ = Conversão para toneladas

Equação 02: Emissões de CH₄ por manejo de dejetos animais

$$\text{Emissão CH}_4 = N_t \times FE_t \times 10^{-3}$$

Em que:

Emissão CH₄ = Total de emissão de CH₄, em toneladas

N_t = Números de animais (por cabeça), por categoria animal

FE_t = Fator de emissão de manejo de dejetos (kg CH₄/cabeça/ano)

10⁻³ = Conversão para toneladas

Equação 03: Emissões diretas de N₂O por manejo de dejetos animais

$$\text{Emissão N}_2\text{O}_{\text{direta}} = \left\{ \sum_S \left[\sum_T \left(N_T \times N_{ex_T} \times MS_{T,S} \right) \right] \times FE_S \right\} \times 44/28 \times 10^{-3}$$

Em que:

Emissão N₂O_{direta} = Total de emissão direta de N₂O, em toneladas

N_t = Números de animais (por cabeça), por categoria animal

N_{ex_t} = Excreção de N anual para a categoria animal T (kg N/animal)

MS_{T,S} = Sistema de gestão de dejetos S para cada categoria T, em %

FE_S = Fator de emissão do sistema utilizado (kg N₂O-N/cabeça/ano)

44/28 = Conversão de N para N₂O

10⁻³ = Conversão para toneladas

Equação 04: Emissões indiretas de N₂O por manejo de dejetos animais

$$\text{Emissão N}_2\text{O}_{\text{indireta}} = (N_{\text{volatilizado}} \times FE) \times 44/28 \times 10^{-3}$$

Em que:

Emissão N₂O_{indireta} = Total de emissão indireta de N₂O, em toneladas

N_{volatilizado} = Quantidade de N volatilizado, em kg

FE = Fator de emissão

4428 = Conversão de N para N₂O

10⁻³ = Conversão para toneladas

Para N_{volatilizado}, calcula-se: $\left\{ \sum_S \left[\sum_T \left(N_T \times N_{ex_T} \times MS_{T,S} \right) \right] \times \text{Frac}_{\text{gas MS}_{T,S}} / 100 \right\}$

Em que:

N_t = Números de animais (por cabeça), por categoria animal

N_{ex_t} = Excreção de N anual para a categoria animal T (kg N/animal)

MS_{T,S} = Sistema de gestão de dejetos S para cada categoria T, em %

Frac_{gas MS_{T,S}} = Fração de N volatilizado para cada sistema S e categoria T

As estimativas de emissão de CH₄ pelo cultivo de arroz irrigado, por meio da Equação 05, consideram fatores de emissão diários a períodos de cultivo e áreas cultivadas de arroz durante o ano.

Equação 05: Emissões de CH₄ pelo cultivo de arroz irrigado

$$\text{Emissão CH}_4 = \sum_{i,j,k} (\text{FE}_{i,j,k} \times t_{i,j,k} \times A_{i,j,k} \times 10^{-3})$$

Em que:

Emissão CH₄ = Total de emissão de CH₄, em toneladas

FE_{i,j,k} = fator de emissão diário para as condições i, j, e k, em kg CH₄ ha⁻¹ dia⁻¹

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

A_{i,j,k} = área de arroz colhida anualmente, para as condições i, j, e k, em ha ano⁻¹

i,j,k = representam os diferentes ecossistemas, regimes de manejo da água, tipo e quantidade de material orgânico e outras condições que podem influenciar as emissões de CH₄ provenientes do cultivo de arroz

10⁻³ = Conversão para toneladas

A Equação 06 estima as emissões diretas de N₂O realizadas por aplicação de vinhaça como adubo orgânico, enquanto a Equação 07 mostra como se chegar à emissão indireta.

Equação 06: Emissões diretas de N₂O por aplicação de vinhaça

$$\text{Emissão N}_2\text{O} = \sum (\text{P}_E \times \text{P}_{EV} \times \text{N}_V \times 10^3) \times \text{FE} \times 44/28 \times 10^{-3}$$

Em que:

Emissão N₂O = Total de emissões de N₂O, em toneladas

P_E = Produção de etanol, em mil m³

P_{EV} = Proporção da produção de vinhaça e etanos, em litros

N_V = Quantidade de N contida na vinhaça (kg N/m³ vinhaça)

10³ = Conversão de m³ para L

FE = Fator de emissão direta de N₂O

44/28 = Conversão de N para N₂O

10⁻³ = Conversão para toneladas

Equação 07: Emissões indiretas de N₂O por aplicação de vinhaça

$$\text{Emissão N}_2\text{O}_{\text{indireta}} = \sum (\text{P}_E \times \text{P}_{EV} \times \text{N}_V \times 10^3) \times \text{Frac}_{\text{leach}} \times \text{FE}_i \times 44/28 \times 10^{-3}$$

Em que:

N₂O_{indireta} = Total de emissão indireta de N₂O, em toneladas

P_E = Produção de etanol, em mil m³

P_{EV} = Proporção da produção de vinhaça e etanos, em litros

N_V = Quantidade de N contida na vinhaça (kg N/m³ vinhaça)

10³ = Conversão de m³ para L

Frac_{leach} = Fator de N lixiviado

FE_i = Fator de emissão indireta de N₂O

44/28 = Conversão de N para N₂O

10⁻³ = Conversão para toneladas

Para a estimativa de emissão direta e indireta de N₂O pela aplicação de torta de filtro como adubo orgânico foram utilizadas as Equações 08 a 10.

Equação 08: Emissões diretas de N₂O por aplicação de torta de filtro

$$\text{Emissão N}_2\text{O}_{\text{direta}} = \sum ((\text{P}_A \times 10^3 \times \text{T}_{CF} \times \text{T}_{TFG}) - (\text{P}_A \times 10^3 \times \text{V}_{ER} \times \text{T}_{CFE} \times \text{T}_{TFG}) + (\text{P}_E \times 10^3 \times \text{T}_{CFE} \times \text{T}_{TFG})) \times \text{TN}_{Tf} \times 10^3 \times \text{FE} \times 44/28 \times 10^{-3}$$

Em que:

N₂O_{direta} = Total de emissão direta de N₂O, em toneladas

P_A = Produção de açúcar, em mil t

T_{CF} = Quantidade de cana-de-açúcar filtrada para produção de açúcar (8,5t cana-de-açúcar/t de açúcar)

T_{TFG} = Quantidade de torta de filtro gerada por cana-de-açúcar filtrada (0,04t torta de filtro/t cana-de-açúcar)

V_{ER} = Quantidade de etanol residual da produção de açúcar (0,085 m³/t açúcar)

T_{CFE} = Quantidade de cana-de-açúcar filtrada para produção de etanol (14,3t cana-de-açúcar/m³ etanol)

P_E = Produção de etanol, em mil m³

10³ = Conversão para toneladas

TN_{Tf} = N em torta de filtro (0,015kg N/kg torta de filtro)

FE = Fator de emissão direta de N₂O

44/28 = Conversão de N para N₂O

10⁻³ = Conversão para toneladas

Equação 09: Emissões indiretas de N₂O (volatilização) por aplicação de torta de filtro

$$\text{Emissão N}_2\text{O}_{\text{indireta}} = \Sigma \left((P_A \times 10^3 \times T_{CF} \times T_{TfG}) - (P_A \times 10^3 \times V_{ER} \times T_{CfE} \times T_{TfG}) + (P_E \times 10^3 \times T_{CfE} \times T_{TfG}) \right) \times TN_{Tf} \times 10^3 \times \text{FRAC}_{\text{gasM}} \times FE_i \times 10^{-3}$$

Em que:

Emissão N₂O_{indireta} = Total de emissão indireta de N₂O, em toneladas

P_A = Produção de açúcar, em mil t

T_{CF} = Quantidade de cana-de-açúcar filtrada para produção de açúcar (8,5t cana-de-açúcar/t de açúcar)

T_{TfG} = Quantidade de torta de filtro gerada por cana-de-açúcar filtrada (0,04t torta de filtro/t cana-de-açúcar)

V_{ER} = Quantidade de etanol residual da produção de açúcar (0,085 m³/t açúcar)

T_{CfE} = Quantidade de cana-de-açúcar filtrada para produção de etanol (14,3t cana-de-açúcar/m³ etanol)

P_E = Produção de etanol, em mil m³

10³ = Conversão para toneladas

TN_{Tf} = N em torta de filtro (0,015kg N/kg torta de filtro)

FRAC_{gasM} = Fração de N volatilizado

FE_i = Fator de emissão indireta de N₂O por volatilização

10⁻³ = Conversão de N para N₂O

10⁻³ = Conversão para toneladas

Equação 10: Emissões indiretas de N₂O (lixiviação) por aplicação de torta de filtro

$$\text{Emissão N}_2\text{O}_{\text{indireta}} = \Sigma \left((P_A \times 10^3 \times T_{CF} \times T_{TfG}) - (P_A \times 10^3 \times V_{ER} \times T_{CfE} \times T_{TfG}) + (P_E \times 10^3 \times T_{CfE} \times T_{TfG}) \right) \times TN_{Tf} \times 10^3 \times \text{FRAC}_{\text{leach}} \times FE_L \times 10^{-3}$$

Em que:

N₂O_{indireta} = Total de emissão indireta de N₂O, em toneladas

P_A = Produção de açúcar, em mil t

T_{CF} = Quantidade de cana-de-açúcar filtrada para produção de açúcar (8,5t cana-de-açúcar/t de açúcar)

T_{TfG} = Quantidade de torta de filtro gerada por cana-de-açúcar filtrada (0,04t torta de filtro/t cana-de-açúcar)

V_{ER} = Quantidade de etanol residual da produção de açúcar (0,085 m³/t açúcar)

T_{CfE} = Quantidade de cana-de-açúcar filtrada para produção de etanol (14,3t cana-de-açúcar/m³ etanol)

P_E = Produção de etanol, em mil m³

10³ = Conversão para toneladas

TN_{Tf} = N em torta de filtro (0,015kg N/kg torta de filtro)

FRAC_{leach} = Fração de N lixiviado

FE_L = Fator de emissão indireta de N₂O por lixiviação

10⁻³ = Conversão de N para N₂O

10⁻³ = Conversão para toneladas

Nas Equações 11 a 13 veem-se as formas de estimar as emissões diretas e indiretas de N₂O por aplicação de esterco como adubo orgânico.

Equação 11: Emissões diretas de N₂O por aplicação de esterco como adubo orgânico

$$\text{Emissão N}_2\text{O} = N_t \times N_{ex_t} \times \Sigma_S (MS_{T,S} \times (1 - \text{FRAC}_{\text{loss MS}})) \times 10^{-3}$$

Em que:

Emissão N₂O = Total de emissões de N₂O, em toneladas

N_t = Números de animais (por cabeça), por categoria animal

N_{ex_t} = Excreção de N anual para a categoria animal T (kg N/animal)

MS_{T,S} = Sistema de gestão de dejetos S para cada categoria T, em %

FRAC_{loss MS} = Fator de perda de N por sistema de gestão de dejetos S, em %

10⁻³ = Conversão de N para N₂O

10⁻³ = Conversão para toneladas

Equação 12: Emissões indiretas (volatilização) de N₂O por aplicação de esterco como adubo orgânico

$$\text{Emissão N}_2\text{O}_{\text{indireta}} = N_t \times N_{ex_t} \times \Sigma_S (MS_{T,S} \times (1 - \text{FRAC}_{\text{loss MS}}) \times \text{FRAC}_{\text{gasM}} \times FE_i) \times 10^{-3}$$

Em que:

Emissão N₂O_{indireta} = Total de emissão indireta de N₂O, em toneladas

N_t = Números de animais (por cabeça), por categoria animal

N_{ex_t} = Excreção de N anual para a categoria animal T (kg N/animal)

MS_{T,S} = Sistema de gestão de dejetos S para cada categoria T, em %

FRAC_{loss MS} = Fator de perda de N por sistema de gestão de dejetos S, em %

FRAC_{gasM} = Fração de N volatilizado

FE_i = Fator de emissão indireta de N₂O por volatilização

10⁻³ = Conversão de N para N₂O

10⁻³ = Conversão para toneladas

Equação 13: Emissões indiretas (lixiviação) de N₂O por aplicação de esterco como adubo orgânico

$$\text{Emissão N}_2\text{O}_{\text{indireta}} = N_t \times \text{Nex}_t \times \sum_S (\text{MS}_{T,S} \times (1 - \text{Frac}_{\text{loss MS}}) \times \text{FRAC}_{\text{leach}} \times \text{FE}_L)^{44/28} \times 10^{-3}$$

Em que:

Emissão N₂O_{indireta} = Total de emissão indireta de N₂O, em toneladas

N_t = Números de animais (por cabeça), por categoria animal

Nex_t = Excreção de N anual para a categoria animal T (kg N/animal)

MS_{T,S} = Sistema de gestão de dejetos S para cada categoria T, em %

Frac_{loss MS} = Fator de perda de N por sistema de gestão de dejetos S, em %

FRAC_{leach} = Fração de N lixiviado

FE_L = Fator de emissão indireta de N₂O por lixiviação

^{44/28} = Conversão de N para N₂O

10⁻³ = Conversão para toneladas

Já a emissão direta e indireta de N₂O por deposição direta de dejetos animais em campo como adubo orgânico é estimada pelas Equações 14 a 16.

Equação 14: Emissões diretas de N₂O por deposição direta de dejetos animais

$$\text{Emissão N}_2\text{O} = \sum (N_t \times \text{Nex}_t \times \text{MS}_t \times \text{FET}) \times^{44/28} \times 10^{-3}$$

Em que:

Emissão N₂O = Total de emissões de N₂O, em toneladas

N_t = Números de animais (por cabeça), por categoria animal

Nex_t = Excreção de N anual para a categoria animal T (kg N/animal)

MS_t = Porcentagem de N excretado diretamente em pastagens por categoria animal

FET = Fator de emissão por categoria animal T (kg N-N₂O/kg N aplicado)

^{44/28} = Conversão de N para N₂O

10⁻³ = Conversão para toneladas

Equação 15: Emissões indiretas (volatilização) de N₂O por deposição direta de dejetos animais

$$\text{Emissão N}_2\text{O}_{\text{indireta}} = \sum (N_t \times \text{Nex}_t \times \text{MS}_t) \times \text{FRAC}_{\text{gasm}} \times \text{FE}_i \times^{44/28} \times 10^{-3}$$

Em que:

Emissão N₂O_{indireta} = Total de emissão indireta de N₂O, em toneladas

N_t = Números de animais (por cabeça), por categoria animal

Nex_t = Excreção de N anual para a categoria animal T (kg N/animal)

MS_t = Porcentagem de N excretado diretamente em pastagens por categoria animal

FRAC_{gasm} = Fração de N volatilizado

FE_i = Fator de emissão indireta de N₂O por volatilização

^{44/28} = Conversão de N para N₂O

10⁻³ = Conversão para toneladas

Equação 16: Emissões indiretas (lixiviação) de N₂O por deposição direta de dejetos animais

$$\text{Emissão N}_2\text{O}_{\text{indireta}} = \sum (N_t \times \text{Nex}_t \times \text{MS}_t) \times \text{FRAC}_{\text{leach}} \times \text{FE}_L \times^{44/28} \times 10^{-3}$$

Em que:

Emissão N₂O_{indireta} = Total de emissão indireta de N₂O, em toneladas

N_t = Números de animais (por cabeça), por categoria animal

Nex_t = Excreção de N anual para a categoria animal T (kg N/animal)

MS_t = Porcentagem de N excretado diretamente em pastagens por categoria animal

FRAC_{leach} = Fração de N lixiviado

FE_L = Fator de emissão indireta de N₂O por lixiviação

^{44/28} = Conversão de N para N₂O

10⁻³ = Conversão para toneladas

As Equações 17 e 18 trazem as emissões de N₂O por aplicação de ureia e outros fertilizantes sintéticos.

Equação 17: Emissões diretas de N₂O por aplicação de ureia e outros fertilizantes sintéticos

$$\text{Emissão N}_2\text{O} = M_i \times \text{FE} \times^{44/28}$$

Em que:

Emissão N₂O = Total de emissões de N₂O, em toneladas

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

FE = Fator de emissão (kg N₂O-N/kg fertilizante i/ano)

^{44/28} = Conversão de N para N₂O

Equação 18: Emissões indiretas de N₂O por aplicação de ureia e outros fertilizantes sintéticos

$$\text{Emissão N}_2\text{O} = M_i \times \text{FRAC}_{\text{leach}} \times \text{FE}_L \times 44/28$$

Em que:

Emissão N₂O = Total de emissões de N₂O, em toneladas

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

FRAC_{leach} = Fração de N lixiviado

FE_L = Fator de emissão indireta por lixiviação (kg N₂O-N/kg fertilizante i/ano)

44/28 = Conversão de N para N₂O

Para as estimativas de emissão de CO₂ por aplicação de ureia foi utilizada a Equação 19.

Equação 19: Emissões de CO₂ por aplicação de ureia

$$\text{Emissão CO}_2 = M_u \times \text{FE} \times 10^{-3}$$

Em que:

Emissão CO₂ = Total de emissão de CO₂, em toneladas

M_u = Quantidade de aplicação de ureia no solo, em tonelada por ano

FE = Fator de emissão (kg C-CO₂/kg ureia/ano)

10⁻³ = Conversão para toneladas

A emissão direta de CO₂ por calagem é observada por meio da Equação 20.

Equação 20: Emissões de CO₂ por calagem

$$\text{Emissão CO}_2 = M_C \times \text{FE}$$

Em que:

Emissão CO₂ = Total de emissão de CO₂, em toneladas

M_C = Quantidade de uso de calcário no solo, em tonelada por ano

FE_i = Fator de emissão (tCO₂/t calcário dolomítico)

Para as emissões em solos orgânicos, utiliza-se a Equação 21.

Equação 21: Emissões de N₂O por solos orgânicos

$$\text{Emissão N}_2\text{O} = A \times \text{FOS}_{\text{CG, temp}} \times \text{FOS}_{\text{F, Temp NR}} \times 44/28 \times 10^{-3}$$

Em que:

Emissão N₂O = Total de emissões de N₂O, em toneladas

A = Área de solos orgânicos, em hectares

F_{OS, CG, temp} = Fator de emissão de área agrícola e pastagem em clima temperado

F_{OS, F, Temp NR} = Fator de emissão de floresta plantada em clima temperado

44/28 = Conversão de N para N₂O

10⁻³ = Conversão para toneladas

A partir da Equação 22 é possível estimar as emissões diretas e indiretas de N₂O por resíduos agrícolas.

Equação 22: Emissões diretas e indiretas de N₂O por resíduos agrícolas

$$\text{Emissão N}_2\text{O}_i = \text{FCR} \times \text{FE}_x$$

Em que:

Emissão N₂O_i = Total de emissão de N₂O, direta ou indireta, em toneladas

FCR = Entrada de N no solo por resíduos de lavouras e na renovação de pastagens, em toneladas

FE_x = Fator de emissão de N₂O, x = direta ou indireta

Para se chegar ao FCR, calcula-se:

$$\text{FCR} = \sum \{ \text{Frac}_{\text{Renew}(T)} \times [(\text{Area}(T) - \text{Area}_{\text{burnt}(T)} \times \text{FC}) \times \text{AG}_{\text{DM}(T)} \times 1000 \times N_{\text{AG}(T)} \times (1 - \text{Frac}_{\text{Remove}(T)}) + \text{Area}(T) \times (\text{AG}_{\text{DM}(T)} \times 1000 + \text{Crop}(T)) \times R_{\text{BG-BIO}(T)} \times N_{\text{BG}(T)}] \}$$

Em que:

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

Area_(T) = Área total de colhida da cultura T, em ha/ano

Area_{burnt(T)} = Área anual da cultura T queimada, em ha/ano

FC = Fator de combustão

AG_{DM(T)} = Produção de matéria seca da parte área da cultura T, em kg/ha

N_{AG(T)} = Teor de N de resíduos acima do solo para cultura T, em kg N/kg matéria seca

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

Crop_(T) = Rendimento anual de matéria seca colhida para a cultura T, em kg/ha

R_{BG-BIO(T)} = Razão de resíduos abaixo do solo para rendimento colhido para a cultura T, em kg

N_{BG(T)} = Teor de N de resíduos abaixo do solo para cultura T, em kg N/kg matéria seca

Por fim, com a Equação 23 tem-se as emissões de CH₄ e N₂O para a queima de resíduos agrícolas.

Equação 23: Emissões de CH₄ e N₂O pela queima de resíduos agrícolas: cana-de-açúcar

$$\text{Emissão}_{\text{GEE}} = A \times \text{MB} \times \text{FC} \times \text{FE}_{\text{GEE}} \times 10^{-3}$$

Em que:

Emissão_{GEE} = Emissão total do GEE, em toneladas

A = Área queimada, em ha

MB = Biomassa disponível para combustão, em t/ha

FC = Fator de combustão

FE = Fator de emissão do GEE

10⁻³ = Conversão para toneladas

Para se chegar ao valor da área queimada:

A = T_{colheita} × A_{colhida}

Em que:

T_{colheita} = Taxa de colheita anual

A_{colhida} = Área colhida anual, em ha

E, para saber a biomassa disponível para combustão:

MB = (Produção / A_{colhida}) × Relação palhiço/colmo

Em que:

Produção = Quantidade produzida, em toneladas

Relação palhiço/colmo = Valor de 0,187 da média brasileira sobre a produção de biomassa seca disponível para a queima

LULUCF

As emissões e remoções de LULUCF foram coletadas por meio da plataforma do SEEG, cujas equações estão presentes nas Notas Metodológicas do setor de Mudança de Uso da Terra e Florestas (SEEG, 2023d). Somente para as remoções associadas aos produtos florestais madeireiros utilizou-se as equações a partir do relatório de Cadeias Produtivas (ECOFINANCE; ICLEI, 2025).

ENERGIA

Realiza-se o cálculo das emissões de GEE relacionadas ao setor de Energia a partir da multiplicação dos dados de consumo/combustão de fontes energéticas pelos fatores de emissão correspondentes, conforme demonstrado na Equação 24.

Equação 24: Emissões de GEE em Energia

$$\text{Emissão}_{\text{comb,GEE}} = \text{Consumo}_{\text{comb.}} \times \text{PCI}_i \times \text{FE}_{\text{comb,GEE}} \times 10^{-3}$$

Em que:

Emissão_{comb, GEE} = Emissões de GEE por tipo de fonte energética, em toneladas

Consumo_{comb.} = Quantidade de fonte energética consumida

PCI_i = Poder calorífico inferior do combustível i

FE_{comb,GEE} = Fator de emissão por tipo de GEE e fonte energética

10⁻³ = Conversão para toneladas

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 25 e Equação 26, assumindo que o componente orgânico degradável no resíduo se degrada ao longo dos anos posteriores à disposição final.

Equação 25: Potencial de geração de metano

$$\text{CH}_4 \text{ gerado} = \text{DDOC}_{\text{m decomp T}} \times \text{F} \times \text{F}^{16/12}$$

Em que:

CH₄ gerado = Quantidade de metano gerado no ano T, em toneladas

DDOC_{m decomp T} = Fração da massa de carbono orgânico degradável que efetivamente se degrada no ano T

F = Fração de metano no gás de aterro

¹⁶/12 = Razão estequiométrica entre metano e carbono

Equação 26: Emissões de CH₄ em resíduos sólidos

$$\text{Emissão CH}_4 = \sum_i (\text{CH}_4 \text{ gerado} - R_t) \times (1 - \text{OX})$$

Em que:

Emissão CH₄ = Total de emissões de CH₄, em toneladas

CH₄ gerado = Quantidade de metano gerado, em toneladas (ver Equação 01)

R_T = Metano recuperado no ano T, em toneladas

OX = Fator de Oxidação, adimensional

As estimativas de emissão do tratamento biológico de resíduos sólidos pode ser adquirida por meio das Equações 27 e 28, que tratam da categoria de compostagem.

Equação 27: Emissões de CH₄ por compostagem

$$\text{Emissão CH}_4 = \sum (M \times EF) \times 10^{-3}$$

Em que:

Emissão CH₄ = Total de emissões de CH₄, em toneladas

M_i = Massa de resíduo orgânico tratada pelo tratamento biológico tipo i, em toneladas

EF_i = Fator de emissão para tratamento i, em g CH₄ kg⁻¹ resíduo tratado

10⁻³ = Conversão para toneladas

Equação 28: Emissões de N₂O por compostagem

$$\text{Emissão N}_2\text{O} = \sum (M \times EF) \times 10^{-3}$$

Em que:

Emissão N₂O = Total de emissões de N₂O, em toneladas

M_i = Massa de resíduo orgânico tratada pelo tratamento biológico tipo i, em toneladas

EF_i = Fator de emissão para tratamento i, em g N₂O kg⁻¹ resíduo tratado

10⁻³ = Conversão para toneladas

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 29 e 30, de acordo com as metodologias descritas nas diretrizes do IPCC (2006). Essas equações também são adotadas para estimar as emissões pela queima a céu aberto, além das Equações 31 e 32.

Equação 29: Emissões de CO₂ não biogênico da incineração

$$\text{Emissão CO}_2 = m \times \left(\sum_i (WF_i \times dm_i \times CF_i \times FCF_i \times OF_i) \right) \times (44/12)$$

Em que:

Emissão CO₂ = Total de emissões de CO₂, em toneladas

m = Massa de resíduos incinerados por tipo de resíduo i, em toneladas

WF_i = Fração de resíduos de tipo i

dm_i = Fração da massa seca do resíduo tipo i (base úmida) incinerada

CF_i = Fração de carbono em massa seca de tipo i

FCF_i = Fração de carbono fóssil no conteúdo de carbono total

OF_i = Fator de oxidação do tipo i

44/12 = Fator de conversão de C para CO₂

Equação 30: Emissões de N₂O da incineração

$$\text{Emissão N}_2\text{O} = \sum_i (IW_i \times EF_i) \times 10^{-6}$$

Em que:

Emissão N₂O = Total de emissões de N₂O, em toneladas

IW_i = Quantidade de resíduos sólidos encaminhados para incineração ou queima a céu aberto, em toneladas por tipo i

EF_i = Fator de emissão (g N₂O/t de resíduo) por tipo i

10⁻⁶ = Conversão de gramas para toneladas

Equação 31: Quantidade de resíduos queimados a céu aberto

$$\text{MSW}_b = P \times P_{\text{frac}} \times \text{MSW}_p \times B_{\text{frac}} \times 365 \times 10^{-3}$$

Em que:

MSW_b = Massa total queimada a céu aberto

P = População

P_{frac} = Fração da população que realizada queima

MSW_p = Geração de resíduos por habitante

B_{frac} = Fração da massa de resíduos que é queimada (default)

365 = Dias do ano

10⁻³ = Conversão para toneladas

Equação 32: Emissões de CH₄ pela queima a céu aberto

$$\text{Emissão CH}_4 = \sum_i (\text{MSW}_b \times EF_i) \times 10^{-6}$$

Em que:

Emissão CH₄ = Total de emissões de CH₄, em toneladas

IW_i = Quantidade de resíduos sólidos encaminhados para queima a céu aberto, em toneladas (ver Equação 07)

EF_i = Fator de emissão (g CH₄/t de resíduo)

10⁻⁶ = Conversão de gramas para toneladas

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

Por fim, para se chegar às estimativas de emissão do tratamento e despejo de águas residuárias domésticas e industriais, usou-se as equações 33 a 35.

Equação 33: Emissões de CH₄ pelo tratamento e despejo de águas residuárias domésticas

$$\text{Emissão CH}_4 = \{[(\text{TOW} - \text{S}_i) \times \text{FE} \times (1 - \text{R})] \times 10^{-3}\}$$

Em que:

Emissão CH₄ = Total de emissões de CH₄, em toneladas

TOW = Massa total de carga orgânica em águas residuárias, em kg/habitante

S = Componente orgânico removido, como iodo, em kg

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

R = Fração de metano recuperado no ano de inventário, kg

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

10⁻³ = Conversão para toneladas

Para obter o TOW, calcula-se:

$$\text{TOW} = [(P \times T_i) / 100] \times \text{BOD} \times I \times 365$$

Em que:

TOW = Material orgânico degradado em águas residuárias, em kg/ano

P = População total

T_i = Taxa da população por situação (e.g.: com coleta e tratamento; com coleta e sem tratamento; uso de fossa séptica; sem coleta e sem tratamento)

BOD = Quantidade média de Demanda Bioquímica de Oxigênio (BOD, do inglês, Biochemical Oxygen Demand) gerada por habitante, por dia em g BOD/ hab./ dia (utilizada a medida da Embasa de 54 g BOD/ hab./ dia)

I = Fração de águas residuárias tratadas anaerobicamente (ou seja, influente em sistemas com potencial de gerar CH)

365 = Dias no ano

Para obter o FE, calcula-se:

$$\text{FE} = B_o \times \text{MCF}_x$$

Em que:

B_o = Capacidade máxima de produção de metano, em kg DBO

MCF_x = Fator de conversão de metano pelo sistema x

Equação 34: Emissões de N₂O pelo tratamento e despejo de águas residuárias domésticas

$$\text{Emissão N}_2\text{O} = \text{N}_{\text{ef}} \times \text{FE}_{\text{ef}} \times 44/28$$

Em que:

Emissão N₂O = Total de emissões de N₂O, em toneladas

N_{ef} = N de água residuária despejado em ambiente aquático, em kg

FE_e = Fator de emissão de N₂O da água residuária despejada

44/28 = Conversão de N para N₂O

Para obter a quantidade de N em água residuária despejada, calcula-se:

$$\text{N}_{\text{ef}} = (P \times \text{Proteína} \times F_{\text{NPR}} \times F_{\text{NON-COM}} \times F_{\text{FIND-COM}}) - \text{N}_{\text{sludge}}$$

Em que:

P = População total

Proteína = Consumo de proteína, em kg/hab/ano

F_{NPR} = Fração de N na proteína

F_{NON-COM} = Fator para proteína não consumida adicionada à água residuária

F_{FIND-COM} = Fator para proteína comercial e industrial codispostos no sistema de coleta

N_{sludge} = N removido via iodo, em kg

Equação 35: Emissões de CH₄ pelo tratamento e despejo de águas residuárias industriais

$$\text{Emissão CH}_4 = [(\text{TOW} \times \text{FE}_i) - \text{R}] \times 10^{-3}$$

Em que:

Emissão CH₄ = Total de emissões de CH₄, em toneladas

TOW = Material orgânico degradado em águas residuárias, em kg/ano

FE_i = Fator de emissão da indústria i, em kg de CH₄ (kg de DBO ou DQO)

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

10⁻³ = Conversão para toneladas

Para obter o TOW, calcula-se:

$$\text{TOW} = P_i \times \text{Co}$$

Em que:

TOW = Material orgânico degradado em águas residuárias industriais, em t/ano

P_i = Produção industrial total para a indústria do setor i, em toneladas

Co = Carga orgânica da produção do setor i, em toneladas

Para obter o FE, calcula-se:

$$\text{FE} = B_o \times \text{MCF}_{x,i}$$

Em que:

B_o = Capacidade máxima de produção de metano, em kg DBO

MCF_x = Fator de conversão de metano pelo sistema x na indústria i

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 e tecnologia aplicado. As equações 36 a 38 apresentam as metodologias descritas nas diretrizes do IPCC para quantificar as emissões provenientes da produção industrial.

Equação 36: Emissões de CO₂ oriundas da produção de cimento

$$\text{Emissão CO}_2 = \text{Consumo} / \text{PCI} \times \text{TJ emitido} \times \text{FE}_{\text{comb,GEE}} \times 10^{-3}$$

Em que:

Emissão CO₂ = Total de emissão de CO₂, em toneladas

Consumo = Quantidade consumida em ktep

PCI = Poder calorífico inferior

TJ emitido = proporção de terajoule emitido no consumo

FE_{comb,GEE} = Fator de emissão por tipo de GEE e fonte energética

10⁻³ = Conversão para toneladas

Equação 37: Emissões de CO₂ oriundas da produção de aço

$$\text{Emissão CO}_2 = P \times \text{FE}$$

Em que:

Emissão CO₂ = Total de emissão de CO₂, em toneladas

P = Produção de aço em toneladas por ano

FE = Fator de emissão por t aço em forno elétrico a arco, no Estado e ano

Equação 38: Emissões de CO₂ oriundas do uso não energético de produtos derivados de petróleo

$$\text{Emissão CO}_2 = \text{Consumo} \times \text{FE} \times \text{F}_O \times 44/12$$

Em que:

Emissão CO₂ = Total de emissão de CO₂, em toneladas

Consumo = Consumo anual de alcatrão, em TJ

FE = fator de emissão de C

F_O = Fração oxidada: percentual do carbono que é realmente emitido (25%)

44/12 = Fator de conversão de C para CO₂

ANEXO IV – Tabelas

Tabela demonstrativa das unidades de conservação presentes no Estado do Rio Grande do Sul, sob diferentes jurisdições.

Tabela C1: **Unidades de Conservação do Rio Grande do Sul**

Esfera Administrativa	Unidades de Conservação	Área (ha)
Federal	Área De Proteção Ambiental Ibirapuitã	316.662
Federal	Estação Ecológica De Aracuri-Esmeralda	277
Federal	Estação Ecológica Do Taim	32.806
Federal	Floresta Nacional De Canela	564
Federal	Floresta Nacional De Passo Fundo	1.334
Federal	Floresta Nacional De São Francisco De Paula	1.616
Federal	Parque Nacional Da Lagoa Do Peixe	36.716
Federal	Refugio De Vida Silvestre Ilha Dos Lobos	142
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Reserva Do Capão Grande	9
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Costa Do Serro	8
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Estância Santa Izabel Do Butuí	132
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Recanto Do Robalo	10
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Reserva Particular Schuster	4
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Jardim Da Paz	2
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Granja São Roque - Reserva Do Paredão	137
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Sítio Porto Da Capela	14
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Rancho Mira-Serra	17
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Reserva Particular Professor Delmar Harry Dos Reis	10
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Fazenda Curupira	99
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Fazenda Caneleira	44

Esfera Administrativa	Unidades de Conservação	Área (ha)
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Fazenda Branquilha	13
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Reserva Dos Mananciais	11
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Fazenda Das Palmas	158
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Mariana Pimentel	45
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Pontal Da Barra	65
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Chacara Sananduva	3
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Bosque De Canela	6
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Estância Santa Rita	336
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Farroupilha	10
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Minas Do Paredão	15
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Da Unisc	267
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Fazenda Espora De Ouro	28
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Fazenda Morro De Sapucaia	89
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Mata Do Professor Baptista	9
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Reserva Maragato	42
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Rincão Das Flores	15
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Ronco Do Bugio	23
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural O Bosque	7
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Universidade De Passo Fundo	32
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Santa Bárbara	2
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Posse Dos Franciosi	268
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Solar Das Borboletas	1
Federal	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Pró-Mata	2.398
Estadual	Parque Estadual Do Turvo	16.767
Estadual	Parque Estadual De Espigão Alto	1.353
Estadual	Parque Estadual Do Espinilho	1.609
Estadual	Parque Estadual De Itapeva	998
Estadual	Área De Proteção Ambiental Estadual Delta Do Jacuí	22.850

Esfera Administrativa	Unidades de Conservação	Área (ha)
Estadual	Área De Proteção Ambiental Do Banhado Grande	136.817
Estadual	Reserva Biológica Do Mato Grande	4.959
Estadual	Parque Estadual De Itapuã	6.022
Estadual	Estação Ecológica Estadual Aratinga	6.042
Estadual	Área De Proteção Ambiental Rota Do Sol	54.706
Estadual	Parque Estadual Do Delta Do Jacuí	14.182
Estadual	Parque Estadual Do Ibitiriá	409
Estadual	Parque Estadual Do Papagaio-Charão	1.009
Estadual	Parque Estadual Do Podocarpus	3.655
Estadual	Parque Estadual Quarta Colônia	1.848
Estadual	Parque Estadual Do Tainhas	6.659
Estadual	Refúgio De Vida Silvestre Banhado Dos Pachecos	2.552
Estadual	Reserva Biológica Do Ibirapuitã	352
Estadual	Reserva Biológica Estadual Mata Paludosa	272
Estadual	Reserva Biológica Do São Donato	4.268
Estadual	Reserva Biológica Da Serra Geral	4.849
Estadual	Refúgio De Vida Silvestre Banhado Do Maçarico	6.255
Estadual	Parque Estadual Do Camaquã	10.728
Estadual	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Estadual Barba	2.381
Estadual	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Estadual Mo'ã	21
Estadual	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Boa Vista	242
Estadual	Reserva Biológica Do Ibicuí Mirim	602
Estadual	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Estadual Salto Forqueta	45
Estadual	Reserva Particular Do Patrimônio Natural Estadual Passo Do Buraco	0,3
Municipal	Parque Natural Municipal Do Pampa	152
Municipal	Reserva Biológica Dárvim João Geremia	3
Municipal	Parque Natural Municipal Da Cascata Do Salso	6
Municipal	Reserva Biológica Biopampa	1.044

Esfra Administrativa	Unidades de Conservação	Área (ha)
Municipal	Área De Proteção Ambiental Corredores De Biodiversidade De Canela	2.690
Municipal	Parque Natural Municipal Do Apertado	22
Municipal	Monumento Natural Municipal Capão Da Amizade	1
Municipal	Área De Relevante Interesse Ecológico - Morro Ferrabraz - Araricá	390
Municipal	Parque Natural Municipal Dos Pinheiros	117
Municipal	Parque Natural Municipal Morro José Lutzenberger	21
Municipal	Parque Natural Municipal Logemann	15
Municipal	Área De Proteção Ambiental Morro De Osório	6.897
Municipal	Apa Da Lagoa De Itapeva	437
Municipal	Area De Proteção Ambiental Da Lagoa Verde	471
Municipal	Parque Natural Municipal Dos Morros	151
Municipal	Parque Natural Municipal Manuel De Barros Pereira	23
Municipal	Parque Natural Municipal Da Ronda	1.449
Municipal	Refúgio De Vida Silvestre Do Molhe Leste	24
Municipal	Parque Natural Municipal Banhado Da Imperatriz	676
Municipal	Parque Municipal Natural Mata Do Rio Uruguai Teixeira Soares	428
Municipal	Área De Relevante Interesse Ecológico Do Morro Ferrabraz	5.930
Municipal	Parque Natural Municipal De Sertão	614
Municipal	Parque Natural Municipal Saint Hilaire	943
Municipal	Parque Natural Municipal Da Mata Leste	43
Municipal	Reserva Biológica Do Lami José Lutzenberger	204
Municipal	Monumento Natural Paleontológico Sanga Da Alemoa	22

Fonte: ICLEI - Adaptado de MMA, 2025.

A Tabela C2 apresenta as terras indígenas regularizadas, ou seja, terras que foram demarcadas e tiveram seus limites homologados pela Presidência da República, de modo a impactar diretamente as remoções de GEE (FUNAI, 2025).

Tabela C2: Terras Indígenas regularizadas no Estado do RS

Terras Indígenas Regularizadas	Etnia	Área (ha)
Cacique Doble	Guaraní Kaingang	4.426,28
Cantagalo	Guarani Mbya	283,68
Capivari	Guarani Mbya	43,32
Carreiro	Kaingang	602,98
Guarani Barra do Ouro	Guaraní	2.268,60
Guarani Votouro	Guaraní	717,38
Guarita	Guaraní Kaingang	23.406,87
Inhacorá	Kaingang	2.843,38
Kaingang de Iraí	Kaingang	279,80
Ligeiro	Kaingang	4.565,80
Monte Caseros	Kaingang	1.112,41
Nonoai/Rio da Várzea	Kaingang	16.415,44
Pacheca	Guaraní	1.852,21
Rio dos Índios	Kaingang	711,70
Salto Grande do Jacuí	Guaraní	234,96
Tekoá Guavirá	Guaraní	27,90
Varzinha	Guarani Mbya	776,28
Ventarra	Kaingang	772,95
Votouro	Kaingang	3.341,10

Fonte: ICLEI - Adaptado de FUNAI, 2025.

