



Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado do Ceará





Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado do Ceará

Julho, 2025

EXPEDIENTE



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

Elmano de Freitas da Costa

Governador

Jade Afonso Romeno

Vice-Governadora

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇAS DO CLIMA (SEMA)

Cassimiro Tapeba

Secretário Executivo

Karyna Leal Ramos

Secretária Executiva

Vilma Maria Freire Dos Anjos

Secretária

EQUIPE TÉCNICA SEMA

Aline Parente Oliveira, Allyne Ferreira Gama, Fábio Teixeira Gusmão, José Wilker de Freitas Sales, Lara Júlia Gurgel Nogueira, Matheus Silveira Pinheiro, Mônica Carvalho Freitas, Viviane Gomes Monte, Wersângela Cunha Duaví

ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade

SECRETARIA EXECUTIVA

RODRIGO PERPÉTUO

Secretário Executivo ICLEI América do Sul

ARMELLE CIBAKA

Gerente de Planejamento, Gestão e Conhecimento

RODRIGO CORRADI

Secretário Executivo Adjunto e Diretor ICLEI Brasil

COORDENAÇÃO TÉCNICA

KEILA FERREIRA

Coordenadora Técnica Brasil

MARÍLIA ISRAEL

Coordenadora Técnica Regional

LÉA GEJER STRUCHINER

Coordenadora de Projetos Técnicos

STEPHANIA ALEIXO

Coordenadora Técnica Regional

COORDENADORA DO IEGEE

LÉA GEJER STRUCHINER

Coordenadora de Projetos Técnicos

AUTORES

EDUARDA MILLER TENENBAUM

Assistente de Baixo Carbono Brasil

LÉA GEJER STRUCHINER

Coordenadora de Projetos Técnicos

GUSTAVO SANCHES DA SILVA

Assistente de Baixo Carbono Brasil

LEONARDO ANDRADE

Analista Técnico

IRIS COLUNA

Assessora Regional de Medição, Reporte e Verificação

LUIZ GUSTAVO PINTO

Assessor Técnico

JOICE OLIVEIRA

Analista Regional de Medição, Reporte e Verificação

TIAGO MELLO

Analista Técnico

LISTA DE SIGLAS

AFOLU - Agriculture, Forestry, and Other Land Use (em português, Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra)

ANP: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

AR5 - Fifth Assessment Report (em português, Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climática)

BEN - Balanço Energético Nacional

C40 Cities - Climate Leadership Group

C - Carbono

CH₄ - Metano

CO₂ - Dióxido de carbono

CO_{2e} - Dióxido de carbono equivalente

COP 29 - Conference of the Parties of the UNFCCC (em português, 29^a Conferência das Partes)

CPTM - Companhia Paulista de Trens Metropolitanos

COVID-19 - Coronavirus Disease 2019 (em português, doença por coronavírus 2019)

DETRAN - Departamento Estadual de Trânsito

EPA - United States Environmental Protection Agency

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

ETE - Estação de Tratamento de Efluentes

F-GASES - Gases fluorados

GEE - Gases de Efeito Estufa

GLP - Gás Liquefeito de Petróleo

GNV - Gás Natural Veicular

GPC - Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories (em português, Protocolo Global para Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Escala da Comunidade)

GWP - Global Warming Potential (em português, Potencial de Aquecimento Global)

HFC - Hidrofluorcarbonos

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEGEE - Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa

IMU - Índice de Mobilidade Urbana

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (em português, Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará

IPPU - Industrial Processes and Product Use (em português, Processos Industriais e Uso de Produtos)

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MMA - Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

MT - Ministério dos Transportes

MtCO_{2e} - Milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente

N₂O - Óxido nitroso

NDC - Contribuições Nacionalmente Determinadas

ONU - Organização das Nações Unidas

PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas

PFC - Perfluorcarbonos

PIB - Produto Interno Bruto

RSS - Resíduos de Serviços de Saúde

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa

SF₆ - Hexafluoreto de Enxofre

SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática

SIN - Sistema Interligado Nacional

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SINISA - Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico

tCO_{2e} - Tonelada(s) de dióxido de carbono equivalente

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change (em português, Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima)

UNEP - United Nations Environment Programme (em português, PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente)

WRI - World Resources Institute

GLOSSÁRIO

AR5 - Quinto relatório de avaliação do IPCC sobre mudanças climáticas

C - Elemento químico base das emissões de gases como CO_2 e CH_4

CH₄ - Gás de efeito estufa potente, proveniente de atividades agropecuárias e resíduos

CO₂ - Principal gás de efeito estufa emitido pela queima de combustíveis fósseis

CO₂e - Unidade que expressa o impacto de GEE em relação ao CO_2

COP 29 - Conferência internacional da ONU para negociação de políticas climáticas

F-GASES - Gases industriais sintéticos com alto GWP, como HFCs e PFCs

GEE - Gases que intensificam o aquecimento global ao reter calor na atmosfera

GWP - Índice do potencial de aquecimento de um gás em relação ao CO_2

HFC - Gases usados em refrigeração, com alto potencial de aquecimento

IEGEE - Inventário que contabiliza emissões e remoções de GEE

MtCO₂e - Unidade de medida de grandes emissões de GEE

N₂O - Gás de efeito estufa emitido principalmente por fertilizantes

NDC - Compromissos de redução de emissões assumidos pelos países no Acordo de Paris

PFC - Gases industriais com alto GWP usados em processos metalúrgicos

SF₆ - Gás com alto GWP usado em equipamentos elétricos

tCO₂e - Unidade padrão de emissão de gases de efeito estufa



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cinco Caminhos do ICLEI	12
Figura 2. Anomalias da temperatura do ar da superfície em 2024	17
Figura 3. Delimitação dos escopos considerados no método <i>GPC</i>	21
Figura 4. Localização do estado do Ceará	26
Figura 5. Frota por tipo no Ceará	28
Figura 6. Disposição final dos resíduos no Ceará	30
Figura 7. Consumo de energia elétrica por setor e ano no Ceará	32
Figura 8. Cobertura e uso da terra no Ceará em 2023	34
Figura 9. Evolução da Participação do Valor Adicionado por Setor no Ceará (2019 - 2023)	36
Figura 10. Evolução das emissões de GEE para o estado do Ceará (2018 a 2023)	44
Figura 11. Perfil de emissões por setor (2018 - 2023)	45
Figura 12. Média anual de emissões líquidas do Ceará (2018 - 2023)	46
Figura 13. Distribuição das emissões de GEE do setor de Transportes	47
Figura 14. Evolução das emissões no setor de Transportes por tipo de combustível ..	48
Figura 15. Emissões do setor de Energia Estacionária por subsetor (2018 - 2023)	49
Figura 16. Emissões do setor de Energia Estacionária por tipo de combustível (2018 - 2023)	51
Figura 17. Emissões do setor de AFOLU por subcategoria	51
Figura 18. Emissões por tipo de rebanho	54
Figura 19. Emissões por tipo de atividade	55
Figura 20. Emissões por subsetor de resíduos	56
Figura 21. Evolução anual das emissões da disposição final	57
Figura 22. Evolução da emissão oriunda do tratamento de efluentes líquidos	58
Figura 23. Evolução da emissão oriunda do incineração ou queima a céu aberto	59
Figura 24. Evolução da emissão por subsetor de IPPU	60
Figura 25. Comparação das emissões líquidas entre o SEEG e o Inventário do Ceará	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Potencial de Aquecimento Global (GWP, sigla em inglês) dos Gases de Efeito Estufa	40
Tabela 2. Evolução anual das emissões líquidas no Ceará (2018 - 2023)	43
Tabela 3. Emissões por tipo de combustível	48
Tabela 4. Emissões por tipo de combustível	50
Tabela 5. Emissões e remoções do subsetor uso da terra	52
Tabela 6. Emissões por tipo de rebanho	53
Tabela 7. Emissões por tipo de atividade	54
Tabela 8. Evolução anual das emissões da disposição final	56
Tabela 9. Evolução anual das emissões do tratamento de efluentes líquidos	57
Tabela 10. Evolução anual das emissões da incineração ou queima a céu aberto	58
Tabela 11. Emissões por tipo de atividade	59
Tabela 12. Emissões por tipo de atividade	61
Tabela 13. Evolução das emissões líquidas por setor - SEEG	63
Tabela 14. Evolução das emissões líquidas por setor - Inventário do Ceará	64
Tabela B1. Fatores de Emissão do Sistema Interligado Nacional (Fator médio anual)	82
Tabela B2. Densidades e Poder Calorífico Inferior (PCI) por tipo de combustível	82
Tabela B3. Fatores de Emissão de GEE (Fontes Estacionárias/ Setor Energia/ Subsetor Construções Residenciais, Agricultura, Silvicultura e Pesca) em quilograma de GEE por Terajoule (TJ)	83
Tabela B4. Fatores de Emissão de GEE (Fontes Estacionárias/ Setor Energia/ Subsetor Construções Comerciais e Institucionais)	83
Tabela B5. Fatores de Emissão de GEE (Fontes Estacionárias/ Setor Energia/ Subsetor Indústria de Manufatura e Construção)	83
Tabela B6. Fatores de Emissão de GEE (Fontes Móveis/ Transporte Terrestre)	83
Tabela B7. Fatores de Emissão de GEE (Fontes Móveis/ Transporte Aéreo)	84
Tabela B8. Fatores de Correção de CH ₄ (Tratamento de efluentes)	84
Tabela B9. Fatores de Emissão de GEE (Tratamento de efluentes)	84
Tabela B10. Fatores de Correção de CH ₄ (Resíduos Sólidos)	85
Tabela B11. Recuperação de metano (Resíduos sólidos)	85
Tabela B12. Fatores de Emissão de GEE (Incineração de RSS)	85

Tabela B13. Composição Gravimétrica (Resíduos sólidos)	85
Tabela C1. Materiais para a capacitação presencial	86
Tabela C2. Materiais para a fase de coleta de dados	87

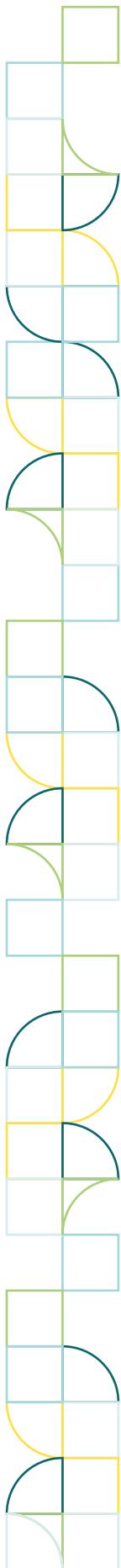
LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Delimitação dos escopos no método GPC	22
Quadro 2. Descrição dos setores de emissão	22
Quadro 3. Setores e Escopos do Inventário de GEE	24
Quadro 4. Informações sobre o Ceará	27
Quadro 5. Setores e subsetores considerados no IEGEE do Ceará	37
Quadro 6. Principais GEE e suas atividades geradoras	41

SUMÁRIO



SOBRE O ICLEI	12
SOBRE O CEARÁ	14
SOBRE O IEGEE DO CEARÁ	15
1. INTRODUÇÃO	17
1.1. Mudança do Clima	17
1.1.1. O Fenômeno do Efeito Estufa	18
1.1.2. Impactos da Mudança do Clima	18
1.2. Estrutura do relatório	20
2. METODOLOGIA	21
2.1. Engajamento e Capacitação de Atores Estratégicos	24
2.1.1. Sessão de Sensibilização e Capacitação Técnica	25
2.2. Fronteiras do Inventário	25
2.2.1. Transportes	27
2.2.2. Resíduos	29
2.2.3. Energia estacionária	31
2.2.4. Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra	33
2.2.5. Setores produtivos	35
2.3. Período coberto pelo inventário	36
2.4. Coleta de dados	37
2.4.1. Limitações e Recomendações	39
2.5. Gases de Efeito Estufa	40
2.6. Método de Cálculo	41
3. RESULTADOS DO INVENTÁRIO	43
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS POR SETOR	45
4.1. Setor de Transportes	46
4.1.1. Emissões por modal de transporte	47
4.1.2. Emissões por tipo de combustível	48
4.2. Setor de Energia Estacionária	49
4.2.1. Emissões por tipo de combustível	50



4.3. Setor AFOLU	51
4.3.1. Uso da Terra	52
4.3.2. Rebanhos	53
4.3.3. Emissões agregadas e outras de não-CO ₂	54
4.4. Setor de Resíduos	55
4.4.1. Disposição final de resíduos sólidos	56
4.4.2. Tratamento de efluentes líquidos domésticos e industriais	57
4.4.3. Incineração de RSS ou queima a céu aberto	58
4.5. Setor IPPU	59
5. CARBONO BIOGÊNICO	61
6. COMPARAÇÃO DO INVENTÁRIO DO CEARÁ COM O SEEG	63
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
7.1. Panorama Geral das Emissões	66
7.2. Recomendações e Oportunidades e Mitigação	67
7.3. Próximos Passos e Caminho à Frente	70
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
ANEXO A. MÉTODO DE CÁLCULO DAS EMISSÕES E REMOÇÕES DE GEE	77
A.1. Energia Estacionária e Transportes	77
A.1.1. Consumo de Combustíveis	77
A.2. Resíduos	78
A.2.1. Resíduos sólidos destinados a aterros	78
A.2.2. Resíduos Sólidos destinados a processos de incineração	79
A.2.3. Efluentes Domésticos	80
A.3. Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra	81
ANEXO B. FATORES DE EMISSÃO	82
B.1. Energia estacionária	82
B.2. Transportes	83
B.3. Resíduos	84
ANEXO C. Registro de reuniões e materiais para elaboração do IEGEE do Ceará	86
C.1. Fase de Elaboração do Plano de Trabalho	87
C.2. Fase de Organização da Capacitação e Sensibilização	88
C.3. Fase de Acompanhamento da Coleta de Dados	89

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 o desenvolvimento de zero carbono, baseado na natureza, equitativo, resiliente e circular.

Nossa Rede e equipe de especialistas trabalham juntos oferecendo acesso a conhecimento, parcerias e capacitações para gerar mudanças sistêmicas. Foi fundado em 1990, na sede da ONU em Nova York, para dar voz aos governos locais em fóruns ambientais globais, e estabeleceu sua sede global em Bonn, na Alemanha. Nossa atuação ganhou força na Rio 92, a partir da consolidação do papel de articulação entre a implementação da cooperação internacional e os governos locais.

Reconhecido pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), o ICLEI tem o mandato de atuar como ponto focal da Constituency de Governos Locais e Autoridades Municipais (LGMA) nas COPs sobre Clima, Biodiversidade e Desertificação, integrando mais de 30 organizações e governos locais nos processos de negociações oficiais das Conferências das Partes.

A nível global, o ICLEI implementa seus projetos baseados em cinco caminhos para o desenvolvimento urbano sustentável: de zero carbono, baseado na natureza, equitativo, resiliente e circular; que estão desenhados para criar uma mudança sistêmica (Figura 1). Os caminhos são a base para projetar soluções integradas que equilibram os padrões da vida humana e os ambientes naturais e construídos. Todos os escritórios seguem a mesma metodologia que é debatida trienalmente entre os membros globais da rede reunidos no Congresso Mundial do ICLEI.

Figura 1. Cinco Caminhos do ICLEI



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade.

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. O escritório Brasil tem a maior base de associados na América do Sul, com 100 membros distribuídos entre 86 municípios, 11 estados e 3 organizações.

O ICLEI América do Sul atua buscando promover as seguintes estratégias aos governos locais associados:

- I. Acesso a informações sobre acordos internacionais;**
- II. Visibilidade e posicionamento nos debates internacionais;**
- III. Oportunidades de intercâmbio técnico e troca de experiências;**
- IV. 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.

SOBRE O CEARÁ

O Ceará vem se consolidando como protagonista na agenda de sustentabilidade e no enfrentamento das mudanças climáticas no Brasil. Com uma atuação estratégica em múltiplas frentes, o estado implementa iniciativas e políticas que refletem sua visão de futuro e compromisso com a resiliência, em consonância com os principais padrões globais de desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, o Inventário Estadual de Emissões de Gases de Efeito Estufa é previsto como instrumento da Política Estadual sobre Mudanças Climáticas – PEMC (Lei nº 16.146/2016, Art. 6º), reforçando a governança climática no território. Ademais, o Decreto nº 34.238/2021, atualizado pelo Decreto nº 35.503 de 15 de junho de 2023, reafirma o engajamento do Ceará em campanhas internacionais como a *Race to Zero* e a *Under2 Coalition*, no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, consolidando o compromisso do estado com a redução das emissões de gases de efeito estufa.

Este Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (IEGEE) reflete esse engajamento e a busca por um diagnóstico preciso para ações mais eficazes.

Reconhecendo a importância da transição energética, o Ceará tem impulsionado fortemente o desenvolvimento de fontes renováveis de energia, como eólica e solar, aproveitando seu vasto potencial natural. Projetos de grande escala e incentivos à geração distribuída demonstram o compromisso com uma matriz energética mais limpa e a descarbonização da economia local (IPECE, 2025).

No Nordeste brasileiro, o cenário é particularmente desafiador. Segundo o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2023), o semiárido da região já registra aumento médio de 1,5 °C em relação aos níveis pré-industriais. Essa elevação está associada a secas mais prolongadas, escassez hídrica, colapsos no abastecimento urbano e eventos climáticos extremos, como enchentes e ondas de calor.

No campo da conservação ambiental e uso do solo, o Ceará tem se dedicado à proteção e recuperação de biomas importantes, como a Caatinga, além de promover o uso sustentável da terra e o fomento a práticas agrícolas de baixo carbono. Essas ações contribuem para o sequestro de carbono e a preservação da biodiversidade.

Em suma, o Ceará demonstra um compromisso proativo com a agenda climática, integrando a sustentabilidade como um vetor de desenvolvimento econômico e social, e buscando envolver diversos atores na construção de um futuro mais verde e resiliente para sua população.

Em suma, o Ceará demonstra um compromisso proativo com a agenda climática, integrando a sustentabilidade como um vetor de desenvolvimento econômico e social, e buscando envolver diversos atores na construção de um futuro mais verde e resiliente para sua população.

IEGEE DO CEARÁ

Um Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (IEGEE) é uma ferramenta essencial para compreender e gerenciar as emissões e remoções de GEE de uma determinada região ou entidade. Serve como uma linha de base para o planejamento climático, permitindo a identificação de fontes de emissão, a definição de metas de redução e o monitoramento do progresso em direção a um desenvolvimento mais sustentável e de baixo carbono.

O presente IEGEE apresenta uma análise das emissões e remoções de GEE do Estado do Ceará, com foco no período de 2018 a 2023, e tem como objetivo retratar os principais desafios presentes no estado com relação à gestão dos gases de efeito estufa. Este levantamento visa compreender o panorama de emissões para que sejam tomadas decisões assertivas e baseadas em evidências, e assim basear as próximas ações na agenda climática estadual.

A metodologia utilizada para a elaboração deste inventário é o Protocolo Global para Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Escala da Comunidade (GPC – *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories*), desenvolvido pelo ICLEI, *World Resources Institute (WRI)* e o Climate Leadership Group (C40 Cities). Este método robusto permite a agregação e confiabilidade dos dados para inventários de comunidades, cidades e regiões, além de garantir a comparabilidade internacional, a partir da definição de três Escopos:

- **Escopo 1:** emissões diretas dentro dos limites do Estado;
- **Escopo 2:** emissões indiretas pelo consumo de eletricidade da rede nacional; e
- **Escopo 3:** outras emissões indiretas fora dos limites, mas resultantes de atividades locais.

É importante observar que, para a elaboração deste relatório, com base nos dados parciais recebidos e na parametrização realizada na plataforma Climas, a análise e os valores apresentados fazem parte das emissões de Escopo 1. Isso significa que as emissões diretas, geradas dentro dos limites geográficos do estado, são os componentes detalhados neste inventário.

Para uma análise detalhada, o GPC classifica as emissões em seis setores de atividade principais:

- I. Energia Estacionária:** que inclui a produção e consumo de energia;
- II. Transportes:** relacionado à queima de combustíveis por veículos;
- III. Resíduos:** abrangendo o tratamento de resíduos sólidos e efluentes líquidos;
- IV. Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU):** referente a processos industriais e uso de gases fluorados;
- V. Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU):** que considera fluxos de GEE associados ao uso e manejo do solo; e
- VI. Outras Emissões Indiretas:** para atividades não contempladas nos demais setores.

Essa categorização permite identificar as fontes específicas de GEE e direcionar as ações de mitigação.

Os resultados preliminares deste inventário, baseados nos dados já coletados e analisados, serão detalhados nas seções seguintes. Este documento é um passo fundamental para subsidiar o desenvolvimento do Ceará, detalhando o perfil de emissões do estado e delineando possíveis caminhos para um futuro mais sustentável e resiliente.



1. INTRODUÇÃO

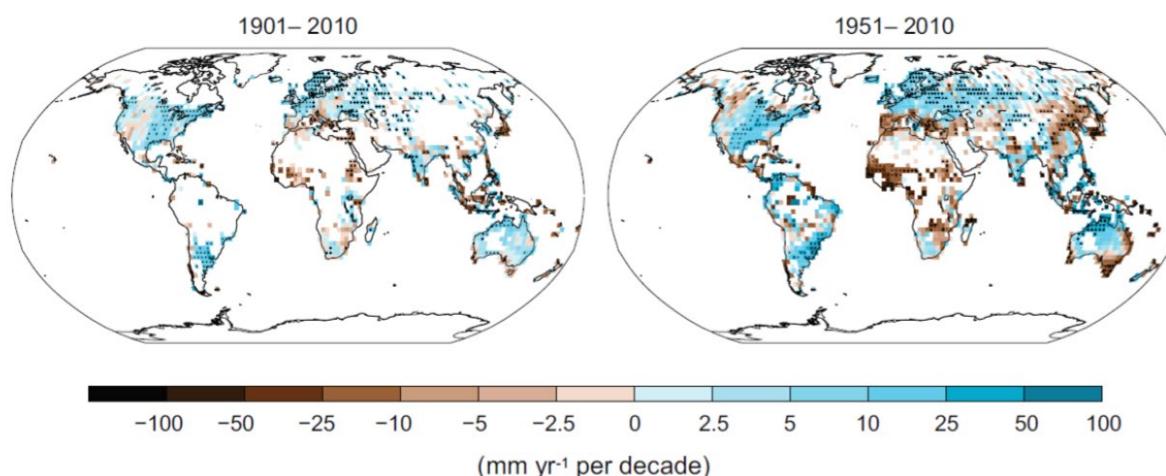
1.1. MUDANÇA DO CLIMA

A mudança do clima é definida pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022) como uma alteração estatisticamente considerável do sistema climático, caracterizada por variações em suas médias ou em sua variabilidade, mantidas por períodos de várias décadas ou mais. Conforme a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – UNFCCC (2022), tais alterações decorrem tanto da variabilidade natural do clima quanto das atividades antrópicas que modificam a composição da atmosfera global.

Evidências científicas demonstram que a atual alteração do sistema climático é predominantemente induzida por atividades antrópicas, notadamente a queima de combustíveis fósseis, mudanças no uso da terra e práticas agropecuárias intensivas. Estimativas recentes indicam que mais de 97% da literatura científica revisada por pares converge nesse diagnóstico (IPCC, 2022; WMO, 2023).

Entre os principais indicadores observados destacam-se o aumento contínuo das temperaturas médias globais (NOAA, 2023), a retração acelerada das calotas de gelo e geleiras, alterações nos regimes de precipitação e nos padrões de circulação atmosférica, bem como mudanças na salinidade e na temperatura dos oceanos. Esses processos têm contribuído diretamente para a maior frequência, intensidade e duração de eventos climáticos extremos, como ondas de calor, secas prolongadas, inundações e ciclones tropicais (IPCC, 2022; C3S, 2024). Em 2024, registrou-se o ano mais quente da série histórica, com uma anomalia de aproximadamente 1,55 °C acima da média pré-industrial, reforçando a urgência de mitigação e adaptação climática (WMO, 2025).

Figura 2. Anomalias da temperatura do ar da superfície em 2024



Fonte: C3, 2024.

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 (IPCC, 2007; DENCHAK, 2019).

De acordo com o Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (2023), a atmosfera terrestre também possui responsabilidade no controle do balanço energético do planeta, permitindo a passagem de aproximadamente 70% da radiação solar incidente e refletindo cerca de 30% de volta ao espaço. A radiação que atravessa a atmosfera é absorvida pela superfície terrestre, pelos oceanos e pela própria atmosfera, promovendo aquecimento, evaporação, formação de nuvens, precipitação, ventos e correntes oceânicas (IPCC, 2023).

Parte dessa energia é reemitida na forma de radiação infravermelha; contudo, ao contrário da luz solar, essa radiação é parcialmente absorvida por gases de efeito estufa, como CO₂, CH₄, H₂O e O₃, cujas moléculas vibram em frequências correspondentes à radiação infravermelha. Essa absorção intensifica o aquecimento atmosférico e aumenta a radiação de retorno à superfície, mantendo o equilíbrio térmico do planeta (IPCC, 2023).

Entretanto, 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 CO₂ na atmosfera (WWF., s.d.).

1.1.2. Impactos da Mudança do Clima

18

As mudanças climáticas configuram-se como uma das ameaças mais significativas à sociedade humana e ecossistemas, gerando impactos em diversas esferas ambientais, econômicas e de saúde pública (IPCC, 2022). Segundo o sexto relatório do Painel Intergovernamental para a Mudança de Clima (IPCC, 2023), as atividades humanas envolvendo a emissão de gases do 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 mudanças climáticas, 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.

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. Esta 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 em 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). No Brasil, destaca-se que o aumento nas temperaturas resulta em mudanças climáticas significativas, afetando o ciclo hidrológico e a incidência de fenômenos extremos. Com isso, tornam-se cada vez mais necessárias medidas para a redução das emissões de gases do efeito estufa, bem como para adaptação climática.

As cidades não apenas estão desproporcionalmente expostas aos impactos das mudanças climáticas, mas também são responsáveis por gerar uma grande parte das emissões globais (ONU Habitat, 2024). Na medida em que essas alterações geram consequências caras para os serviços básicos das cidades, infraestrutura, habitação, meios de subsistência humanos e saúde, as cidades são uma das principais contribuintes para as mudanças climáticas, pois as atividades urbanas são fontes significativas de emissões de gases de efeito estufa. Estimativas sugerem que as áreas urbanas são responsáveis por 70% das emissões globais de CO₂, com o transporte e os edifícios sendo alguns dos maiores contribuintes (UNEP, 2025).

As informações acima demonstram a importância da participação ativa das cidades na redução de emissões de carbono e na promoção do desenvolvimento urbano sustentável. As cidades são altamente favoráveis à implementação de programas de adaptação e mitigação que geram uma série de co-benefícios para as comunidades em termos de redução da pobreza, emprego, fornecimento de serviços e qualidade de vida.

Dessa forma, governos locais são fundamentais na implementação de políticas como a preservação de áreas verdes, promoção de mobilidade sustentável e eficiência energética, além de ser elo crucial para impulsionar a conscientização e o engajamento comunitário na agenda climática. Portanto, a articulação entre as diferentes esferas de governo e sua aplicação prática em áreas urbanas é essencial para que o Brasil alcance suas metas estabelecidas no cenário internacional e para o fortalecimento da resiliência climática nacional.

1.2. ESTRUTURA DO RELATÓRIO

A contabilização das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), visando compreender a situação para tomar decisões assertivas e baseadas em evidências, é parte fundamental da implementação da agenda climática em nível estadual. As informações sobre as emissões são obtidas por meio de Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa (IEGEE).

O Inventário é um instrumento que visa quantificar e monitorar as emissões de uma instituição ou comunidade. Ao definir sua abrangência, identificar as fontes e sumidouros de GEE e contabilizar suas emissões ou remoções, permite a compreensão do perfil das emissões resultantes das atividades dos diversos setores.

Este relatório apresenta os resultados do 1º IEGEE do Ceará, as premissas adotadas e as referências sobre onde os dados foram extraídos. Sua estrutura é apresentada a seguir.

- **Capítulo 1 - Introdução:** contextualiza o que é um inventário e apresenta a estrutura do relatório.
- **Capítulo 2 - Metodologia:** define o método adotado, a abrangência do inventário, descreve os princípios de contabilização de sua elaboração, e apresenta as fontes e dados de entrada.
- **Capítulo 3 - Visão Geral do Resultado:** apresenta os resultados gerais do IEGEE;
- **Capítulo 4 - Avaliação dos Resultados por Setor:** apresenta os resultados do IEGEE para cada setor e subsetor de atividade;
- **Capítulo 5 - Considerações Finais:** sintetização dos resultados e discussões de possíveis ações a serem desenvolvidas dentro da perspectiva da mitigação.
- **Capítulo 6 - Referências Bibliográficas:** fontes que embasaram a produção do atual inventário.
- **Anexos** - apresentação dos métodos de cálculo e fatores de emissão.

2. METODOLOGIA

Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) são ferramentas essenciais para a gestão climática em qualquer esfera de governo. Para o desenvolvimento do Inventário de Emissões de GEE do Estado do Ceará, foi adotado o Protocolo Global para Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Escala da Comunidade (GPC – Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories). Este protocolo, desenvolvido em 2014 pelo ICLEI, World Resources Institute (WRI) e o Climate Leadership Group (C40 Cities), é reconhecido internacionalmente por sua estrutura robusta e padronizada.

O principal objetivo do GPC é permitir a agregação e a confiabilidade de dados para inventários de comunidades, cidades e regiões, além de facilitar análises comparativas entre diferentes governos locais. Ao estabelecer requisitos claros e prover orientações detalhadas para os cálculos e o reporte dos GEE, o GPC garante rigor e comparabilidade internacional, posicionando o Ceará na vanguarda da ação climática e permitindo sua participação em redes e iniciativas globais que exigem reporte padronizado de emissões.

Nos inventários preparados de acordo com o método do GPC, as emissões são definidas e classificadas em três categorias principais, baseadas na localização geográfica das atividades geradoras, conforme ilustrado na Figura 3 e descrito no Quadro 1:

Figura 3. Delimitação dos escopos considerados no método GPC



Fonte: WRI; C40; ICLEI, 2014.

Quadro 1. Delimitação dos escopos no método GPC

Escopo 1	Emissões de GEE por fontes localizadas dentro dos limites do Estado.
Escopo 2	Emissões de GEE que ocorrem como consequência do uso de eletricidade fornecida pela rede nacional dentro dos limites do Estado, como o Sistema Interligado Nacional (SIN) no Brasil.
Escopo 3	Emissões de GEE que ocorrem fora dos limites do município como resultado de atividades que ocorrem dentro de seus limites. São consideradas emissões indiretas, originadas de fontes localizadas externamente aos limites estaduais, mas resultantes de atividades sob a responsabilidade direta da administração estadual.

Fonte: Elaboração própria a partir de WRI; C40; ICLEI, 2014.

Além da desagregação em escopos, o GPC também prevê a alocação das emissões por setores e subsetores, com o objetivo de permitir que todas as atividades sejam identificadas e categorizadas de forma consistente. Para tanto, o GPC determina seis diferentes setores nos quais as atividades emissoras podem ser alocadas:

Quadro 2. Descrição dos setores de emissão

Setor 1	Energia Estacionária	<p>Neste setor estão incluídas emissões geradas devido à produção, transformação, distribuição e consumo de diferentes formas de energia. Incluem-se também emissões fugitivas, ou seja, aquelas que ocorrem a partir da emissão intencional ou acidental de GEE durante os processos de extração, processamento, transformação e distribuição de combustíveis fósseis, como por exemplo: emissões de vazamentos de gás natural e as emissões de metano durante a mineração de carvão e queima durante a extração e refino de óleo.</p> <p>O GPC define as principais fontes segregadas em: edifícios residenciais; edifícios comerciais e institucionais; indústrias de manufatura e de construção; indústria de energia; agricultura, silvicultura e pesca; fontes não especificadas; emissões fugitivas de mineração, processamento, estoque e transporte de carvão; e emissões fugitivas de vazamento de óleo e gás natural.</p>
Setor 2	Transportes	<p>Neste setor estão incluídas emissões geradas pela queima de combustíveis realizada por diversos tipos de transporte existentes no Estado, além de, quando existente, o consumo de energia por veículos elétricos.</p> <p>As fontes são segregadas por modal: terrestre, ferroviário, fluvial, aéreo e off-road. São avaliados: consumo de gasolina, etanol, óleo diesel, gasolina de aviação e querosene de aviação, consumo de Gás Natural Veicular (GNV), consumo de combustível de viagens nacionais, e consumo de óleo diesel no transporte público.</p>

Setor 3	Resíduos	<p>Neste setor estão incluídas as emissões relacionadas exclusivamente com o tratamento de resíduos sólidos e de efluentes líquidos. São estimadas as emissões de metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e gás carbônico (CO_2) oriundas de degradação da matéria orgânica e outros compostos nas diferentes rotas de tratamento aplicadas na gestão de resíduos.</p> <p>As fontes são segregadas em: disposição de resíduos sólidos, tratamento biológico, incineração, e disposição e tratamento de efluentes.</p>
Setor 4	Processos Industriais e Uso de Produtos (Industrial Processes and Product Use - IPPU)	<p>Neste setor são estimadas as emissões provenientes de processos industriais, do uso de GEE em produtos e de usos não energéticos de combustíveis fósseis.</p> <p>As principais fontes de emissão estão relacionadas à indústria de transformação (química ou física), como por exemplo, indústrias de ferro, aço e cimento. Ademais, o uso de GEE (como os hidrofluorcarbonos - HFCs) em produtos como geladeiras, espumas ou latas de aerossol também são contabilizados.</p>
Setor 5	Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (Agriculture, Forestry, and Other Land Use - AFOLU)	<p>Neste setor são contemplados os fluxos de GEE oriundos do uso e manejo de solos que influenciam uma variedade de processos do ecossistema, como a fotossíntese, respiração, decomposição, nitrificação/ desnitrificação, fermentação entérica, combustão e outros. Todos esses processos envolvem transformações físicas (combustão, lixiviação e escoamento) e biológicas (atividade de microrganismos, plantas e animais) de carbono e nitrogênio. Neste setor estão descritas as emissões de CO_2, CH_4 e N_2O.</p> <p>Para o setor de AFOLU, as fontes são segregadas em: rebanhos, uso da terra, emissões agregadas e outras emissões de não-CO_2.</p>
Setor 6	Outras emissões indiretas	<p>Neste setor são computadas as emissões geradas por atividades que ocorrem fora da fronteira do Estado, mas que têm relação com atividades que ocorrem dentro de seus limites, e que não foram contempladas nos outros setores.</p> <p>Para as estimativas, são consideradas atividades que acarretam emissões indiretas, como, por exemplo, a taxa de desperdício de água residuária gerada no Estado, mas lançadas além de seus limites, emissões provenientes do consumo de insumos para construção civil e outros. Destaca-se que de acordo com o GPC não é uma obrigatoriedade estimar essas emissões.</p>

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Para uma maior compreensão de como os diferentes setores de atividade se interligam com os escopos de emissão no inventário, o Quadro 3 a seguir apresenta de forma resumida a alocação de cada setor dentro dos Escopos 1, 2 e 3. Essa categorização é essencial para identificar a origem das emissões (diretas ou indiretas) e direcionar as estratégias de mitigação de forma eficaz.

Quadro 3. Setores e Escopos do Inventário de GEE

Setor	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3
Energia Estacionária	X	X	X
Transportes	X	X	X
Resíduos	X		X
Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU)	X		
Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU)	X		
Outras emissões do Escopo 3			X

Fonte: WRI; C40; ICLEI, 2014.

Para a realização do Inventário é necessário definir os limites do sistema analisado. Este passo inclui a delimitação da fronteira geográfica e a identificação das atividades fontes de emissão por setor, aspectos detalhados nos tópicos a seguir.

2.1. ENGAJAMENTO E CAPACITAÇÃO DE ATORES ESTRATÉGICOS

A elaboração de um Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa para um território tão abrangente como o Estado do Ceará exige concomitantemente com o trabalho técnico, um processo de engajamento e capacitação dos diversos atores envolvidos. Reconhecendo essa premissa, o Plano de Trabalho do IEGEE do Ceará estabeleceu a sensibilização e formação de um Grupo de Trabalho (GT) estratégico, composto por gestores e corpo técnico do estado.

O principal objetivo da formação do GT é fomentar o conhecimento e a autonomia dos gestores e do corpo técnico estadual na construção do Inventário do Ceará. Este GT é fundamental tanto para o apoio na coleta de dados quanto para o processo de revisão e validação das informações e produtos do inventário.

O Grupo de Trabalho é composto por membros da Secretaria de Meio Ambiente e Mudança do Clima (SEMA) e outros órgãos estaduais, conforme apresentado na figura abaixo, visando otimizar a comunicação e a colaboração no levantamento e validação dos dados necessários.

Registros do encontro de sensibilização e das reuniões para acompanhamento da coleta de dados podem ser vistos no Anexo C.

2.1.1. Sessão de Sensibilização e Capacitação Técnica

Como parte da estratégia de engajamento, uma sessão presencial de sensibilização e capacitação sobre a elaboração de Inventários de Emissões de GEE foi realizada no dia 03 de abril de 2025, no Anfiteatro do Parque Ecológico do Cocó, em Fortaleza. Esta atividade, desenvolvida pelo ICLEI América do Sul, teve como público-alvo o Grupo de Trabalho e demais técnicos interessados.

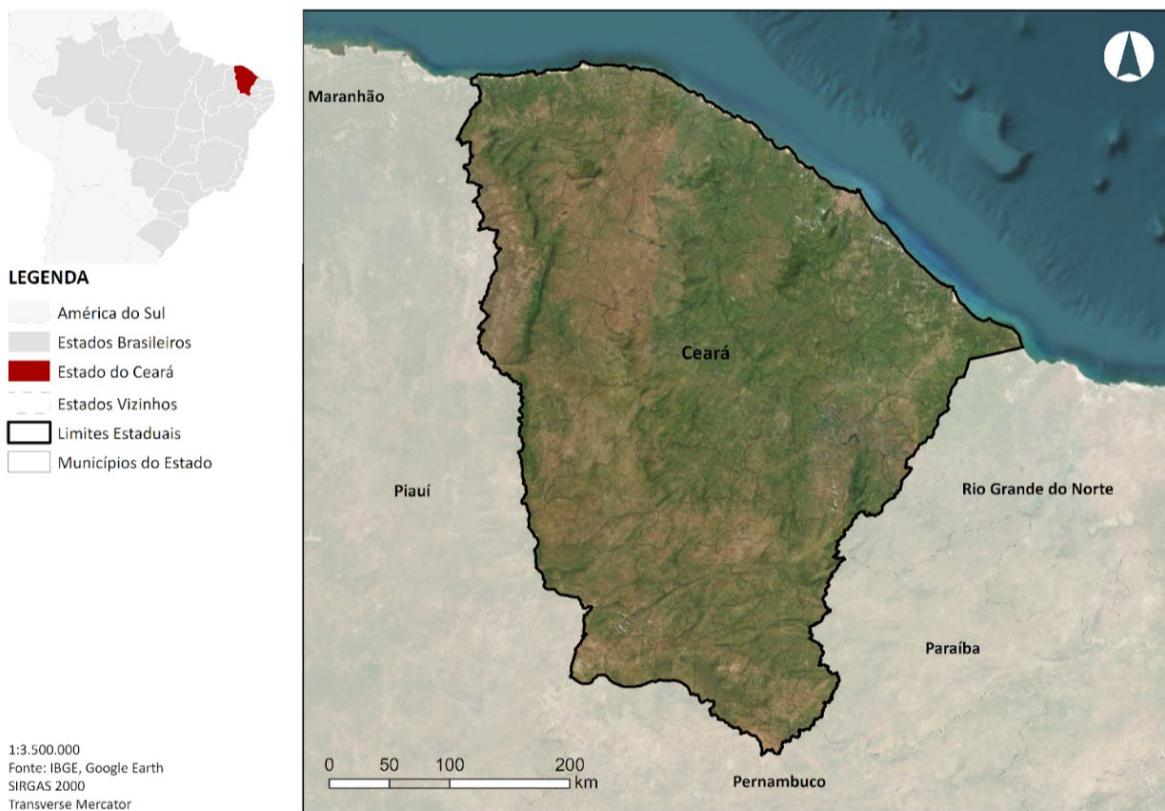
A programação da capacitação abordou uma série de temas essenciais para a compreensão do contexto climático e das metodologias de inventário, incluindo:

- **Mudança do Clima:** Nivelamento de conhecimento sobre efeito estufa, GEE, atividades fontes de emissão e impactos da mudança do clima.
- **Marco Legal e Institucional:** Discussão sobre o Acordo de Paris e as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC) brasileiras, estabelecendo o contexto das metas climáticas.
- **Metodologias de Elaboração de Inventário:** Apresentação das metodologias do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) e do *GPC* (*Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories*), que balizam a construção deste.
- **Temas Setoriais:** Análise aprofundada dos setores de Energia (Estacionária e Transportes), Processos Industriais e Uso de Produtos (*IPPU*), Resíduos, e Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (*AFOLU*), identificando suas principais fontes de emissão.
- **Cálculo e Coleta de Dados:** Orientação sobre métodos de cálculo simplificados, dados de atividade, fatores de emissão e potencial de aquecimento global, além de estratégias para a coleta eficaz de dados junto às instituições detentoras das informações. Foi enfatizado o uso da plataforma Climas como ferramenta de apoio para cálculo e processamento dos dados.

2.2. FRONTEIRAS DO INVENTÁRIO

O estado do Ceará está localizado na região Nordeste do Brasil, limitando-se ao sul com Pernambuco, a leste com o Rio Grande do Norte e a Paraíba, a oeste com o Piauí e ao norte é banhado pelo Oceano Atlântico. Com uma área territorial de 148.894,4 km² (IBGE, 2024a), o estado abrange 184 municípios, tendo Fortaleza como a capital.

A população no último censo é de 8.794.957 habitantes (IBGE, 2022) e a densidade demográfica é de aproximadamente 59,07 habitantes por km², sendo o 3º estado mais populoso do nordeste e o 8º do Brasil (IBGE, 2022). Esse valor é superior ao registrado em outros estados do Nordeste, como o Piauí, cuja densidade é de 12,99 hab./km² e a Bahia, com 25,04 hab./km², porém inferior a densidade de Pernambuco com 92,37 hab./km² (IBGE, 2022). A Figura 4 apresenta o mapa do estado.

Figura 4. Localização do estado do Ceará

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Em 2021, o Produto Interno Bruto (PIB) do Ceará foi de aproximadamente R\$ 194,9 milhões e rendimento mensal domiciliar per capita de R\$ 881. Em comparação ao PIB Bruto no ano de 2021, o Ceará fica em 3º lugar, atrás da Bahia (R\$ 352,6 milhões) e Pernambuco (R\$ 220,814 milhões) (IBGE, 2021). Já em relação ao rendimento mensal domiciliar per capita, o estado está também em 3º lugar na região, ficando na frente do Rio Grande do Norte (R\$ 1.109) e Sergipe (R\$ 929) (IBGE, 2024b).

A economia do estado é sustentada principalmente pelo setor de serviços, que em 2022 contava com mais de 85 mil estabelecimentos registrados (SEBRAE, 2022). Além disso, os setores industrial e comercial também possuem papel relevante na economia cearense. A indústria local é diversificada, com destaque para os setores de construção, serviços industriais de utilidade pública, metalurgia, têxtil, couros e calçados (CNI, 2022). O comércio, por sua vez, é dinâmico e está presente em todas as regiões do estado, com milhares de estabelecimentos atuando nos setores de atacado e varejo (SEBRAE, 2022).

O Ceará é dividido em 12 bacias hidrográficas, destacando-se os rios Acaraú, Banabuiú, Jaguaribe e Salgado, sendo o rio Jaguaribe o mais importante e extenso, com cerca de 652 km. O estado também possui lagoas relevantes, como as de Almécegas, Catú, Cauípe, Jijoca e Uruaú. O regime de chuvas é irregular, com duas estações definidas: uma chuvosa, concentrada no primeiro semestre, e uma seca no segundo semestre, com poucas precipitações (FUNCME, 2024) e maior incidência de queimadas e incêndios florestais no estado. O clima predominante é Tropical Quente Semi-Árido (IPECE, 2014) e o bioma Caatinga (IBGE, s.d.).

Em 2023, a cobertura do solo no estado do Ceará era composta majoritariamente por áreas de uso natural, que representaram 69,77% do território, totalizando 10,39 milhões de hectares. As áreas de uso antrópico corresponderam a 30,16%, 4,49 milhões de hectares, abaixo da média se comparado com outros estados da região como o Rio Grande do Norte (49%), Bahia (46%) e Pernambuco (45%). Por fim, uma pequena fração do território (0,07%, ou 9.698,95 hectares) foi classificada como não definida, indicando áreas com limitações de observação ou classificação nas imagens de satélite (MapBiomas, 2023).

Quadro 4. Informações sobre o Ceará

Caracterização e Limites do Inventário	
Nome do estado	Ceará
Capital	Fortaleza
País	Brasil
Área	148.894,4 km ²
Limites geográficos	Pernambuco, Rio Grande do Norte, Paraíba e Piauí
População	8.794.957 pessoas (2022)
PIB per capita	R\$ 21.090,11
Clima	Tropical Quente Semi-árido (predominante)
Bioma	Caatinga

Fonte: IBGE, 2023, 2024b).

Como parte da delimitação das fronteiras do inventário, as próximas seções descrevem o cenário do estado do Ceará a partir dos setores sugeridos pelo GPC: Energia Estacionária, Transportes, Resíduos, Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU), e Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU).

2.2.1. Transportes

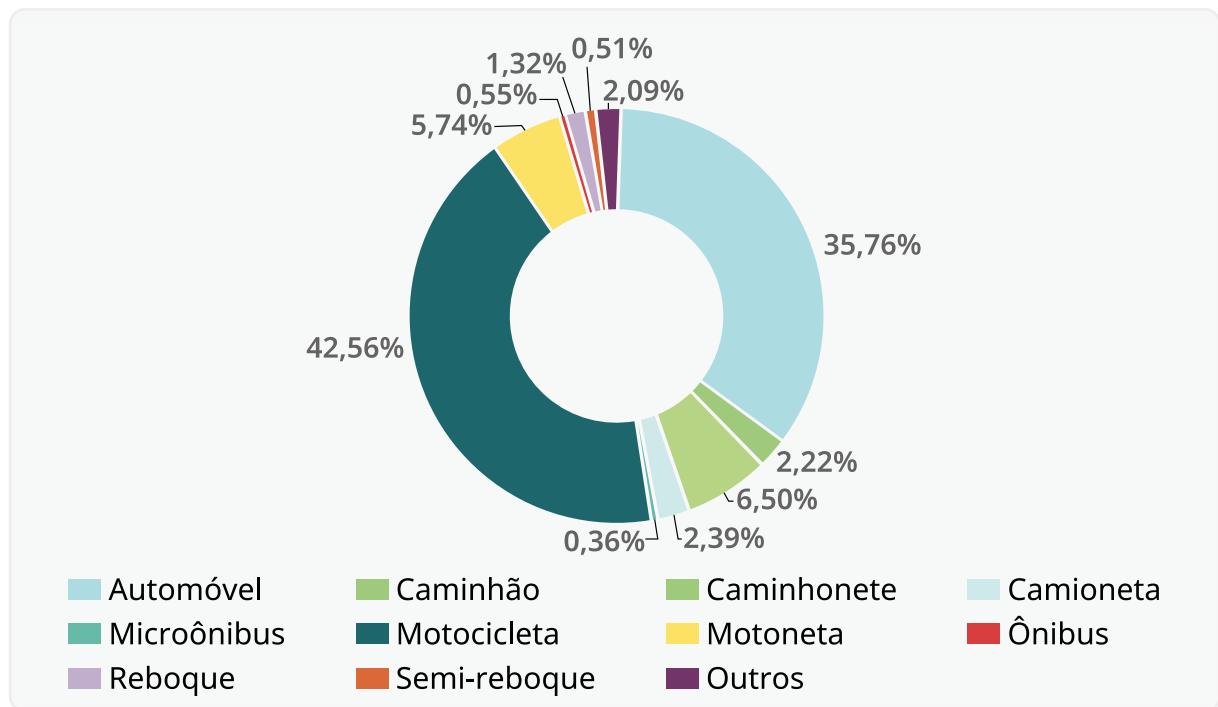
De acordo com o Departamento Estadual de Trânsito do Ceará (DETRAN CE), até setembro de 2023, o estado registrou uma frota total de 3.735.255 veículos. As motocicletas lideraram em quantidade, representando 42,56% do total, seguidas pelos automóveis, com 35,76%. Caminhonetes e motonetas apareceram em seguida, com 6,50% e 5,74%, respectivamente. As camionetas corresponderam a 2,39% da frota, enquanto os caminhões representaram 2,22% (DETRAN CE, 2023).

A predominância de motocicletas e automóveis na frota cearense (Figura 5) já sinaliza a relevância do transporte rodoviário para o perfil de emissões do estado, uma tendência que será confirmada nos resultados a seguir.

Em comparação dos dois principais veículos, na Bahia, a composição da frota apresenta uma configuração distinta: os automóveis correspondem a 43% do total, seguidos pelas motocicletas, com 37% (DETAN BA, 2025). A distribuição da frota pernambucana é semelhante à baiana: 40% de automóveis e 36% de motocicletas.

Já o Piauí possui maior congruência com o Ceará, com as motocicletas liderando (46%), porém com uma maior diferença para a frota de automóveis, com apenas 29% (MT, 2025).

Figura 5. Frota por tipo no Ceará



Fonte: ICLEI adaptado de Detran CE, 2023.

Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2025), em 2023, o estado do Ceará apresentou um perfil de consumo energético diversificado, com destaque para o uso intensivo de combustíveis fósseis no setor de transportes. A gasolina C liderou o consumo entre os combustíveis, com 1,53 bilhão de litros utilizados exclusivamente no transporte rodoviário. O etanol hidratado, também destinado somente ao transporte rodoviário, somou 147 milhões de litros, indicando uma presença ainda relevante de biocombustíveis na matriz veicular cearense.

O óleo diesel foi outro insumo de grande relevância, com um consumo total de aproximadamente 1,14 bilhão de litros, dos quais 89,96% foram destinados ao setor rodoviário, os 10,04% restantes foram distribuídos entre os demais setores. No setor aéreo, o consumo de querosene de aviação atingiu 219,2 milhões de litros, enquanto

a gasolina de aviação representou um volume bem menor, com 427,872 litros, ambos exclusivos do transporte aéreo (ANP, 2025).

Quando comparado ao estado da Bahia, observa-se que 96% da frota baiana utiliza combustíveis convencionais, como gasolina e diesel, enquanto apenas 3% operam com tração secundária e cerca de 1% com Gás Natural Veicular (GNV) (DETAN BA, 2025).

Em Pernambuco, esse padrão também se repete, aproximadamente 84% da frota utiliza combinações de gasolina e álcool, sendo 45% movida a álcool/gasolina, 39% exclusivamente a gasolina e 7% a diesel. Apenas 1% dos veículos registram uso de GNV (gasolina/GNV ou álcool/GNV), enquanto os veículos elétricos e híbridos representam menos de 1% da frota.

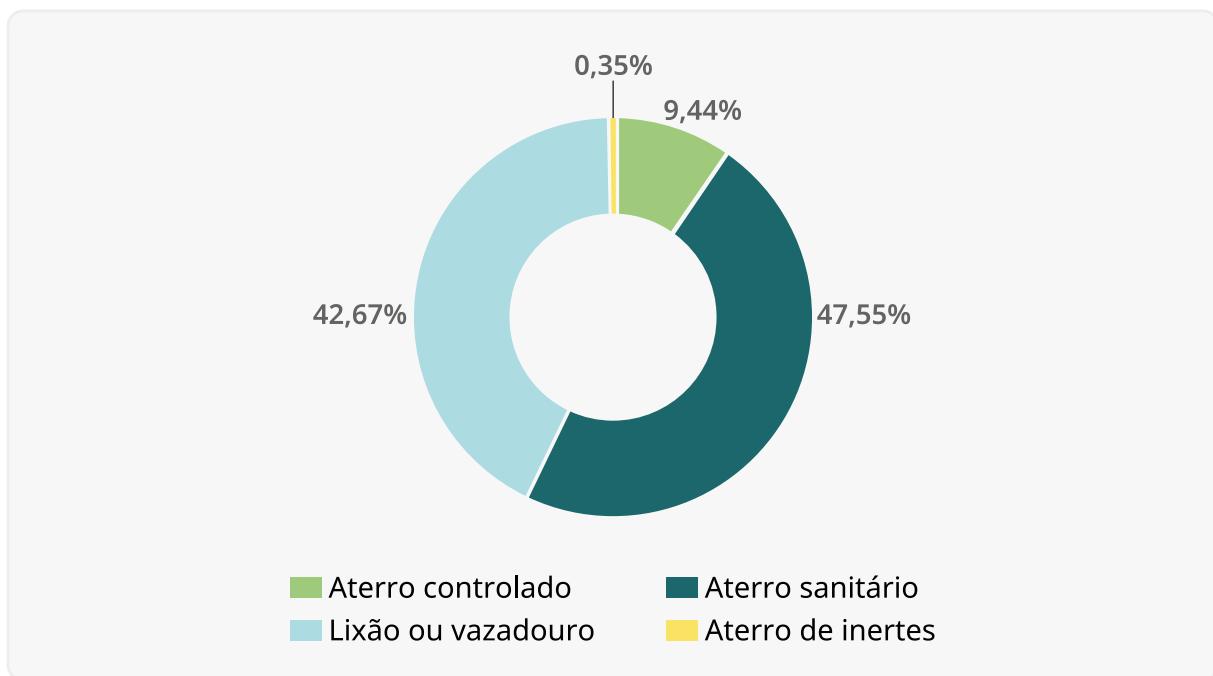
No Piauí, 48% dos veículos são movidos exclusivamente a gasolina e 41% com a combinação álcool/gasolina, somando cerca de 89% da frota. Os veículos a diesel correspondem a 8%, e os com tração elétrica ou GNV totalizam frações mínimas, reforçando a baixa penetração de tecnologias alternativas nos estados nordestinos (MT, 2025).

Deste modo, o setor de transportes do Ceará teve grande impacto nas emissões de GEE, devido ao uso predominante de combustíveis fósseis como gasolina e diesel, sendo responsável por 46% e 34% da matriz, respectivamente. A frota estadual, composta majoritariamente por motocicletas e automóveis, intensifica esse impacto. Apesar da presença de biocombustíveis como o etanol, seu uso ainda é limitado frente ao volume total consumido.

2.2.2. Resíduos

RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Com base no Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA, 2025b), em 2023, o estado do Ceará destinou um total de 3.748.274,80 toneladas de resíduos sólidos para unidades de disposição final. A maior parte desse volume foi encaminhada para aterros sanitários, que receberam 1.782.294,70 toneladas (47,55% do total), seguidos pelos lixões ou vazadouros, que ainda representaram 42,67% (1.599.259,20 toneladas), evidenciando desafios na gestão adequada de resíduos. Os aterros controlados receberam 353.722,50 toneladas (9,44%), enquanto os aterros de inertes contabilizaram 12.998,40 toneladas (0,35%). A disposição final dos resíduos é apresentada na Figura 6 a seguir.

Figura 6. Disposição final dos resíduos no Ceará

Fonte: ICLEI adaptado de SINISA, 2025.

Em 2023, o estado do Ceará apresentou uma cobertura da população total com coleta de resíduos sólidos domiciliares de 83,78% O dado corresponde a 7.442.575 habitantes atendidos com o serviço de coleta regular, seja direta ou indiretamente, com frequência mínima de uma vez por semana. Já a coleta seletiva de resíduos sólidos domiciliares alcançou apenas 5,96% da população total, equivalente a 529.552 habitantes (SINISA, 2025b).

Em comparação, no ano de 2023, os dados nacionais indicaram que 86% da população brasileira foi atendida por serviços regulares de coleta de resíduos sólidos domiciliares. No entanto, a cobertura da coleta seletiva permaneceu limitada, alcançando apenas 35% da população. Na região Nordeste, os índices foram inferiores à média nacional, a cobertura da coleta convencional atingiu 75% da população, enquanto a coleta seletiva contemplou apenas 5% (SINISA, 2025b).

Diante desse cenário, é possível concluir que a maior parcela da população cearense (94,04%) ainda não conta com acesso regular à coleta seletiva. A cobertura de coleta seletiva do estado está dentro da média regional nordestina, porém distante da média nacional. Isso reflete uma cobertura ainda limitada no que se refere à separação e destinação adequada de materiais recicláveis (SINISA, 2025b).

ESGOTAMENTO SANITÁRIO

De acordo com o SINISA (2025a), em 2023, no estado do Ceará, 33,07% da população era atendida por rede de esgotamento sanitário, o que corresponde a 2.824.984 habitantes. Como consequência, 66,93% da população cearense ainda não possui acesso à rede coletora de esgoto. A extensão da rede pública alcançava 6.669,3 km, evidenciando um sistema ainda em processo de expansão.

Quanto ao tratamento, foram coletados 109.032,68 mil m³ de esgoto ao longo do ano, dos quais 100.426,32 mil m³ foram efetivamente tratados, resultando em um índice de tratamento de esgoto de 92,11% sobre o volume coletado (SINISA, 2025a).

Numa comparação regional e nacional, em 2023, o percentual cearense de atendimento da população com rede coletora de esgoto está próximo ao registrado na macrorregião Nordeste (33,79%), apesar de consideravelmente abaixo da média nacional, que alcançou 59,70% (SINISA, 2025a).

É importante destacar que a amplitude reduzida da cobertura (apenas um terço da população atendida) implica em um volume menor de esgoto a ser tratado. Isso se reflete nos dados do SINISA (2025a): enquanto o Nordeste trata 80,97% do esgoto coletado, superando a média nacional de 78,68%, esse desempenho deve ser interpretado com ressalvas. Sistemas com menor cobertura tendem a apresentar taxas de tratamento mais altas, já que lidam com escalas reduzidas e desafios operacionais menos complexos que regiões com redes ampliadas.

Como resultado, o cenário dos resíduos no Ceará em 2023 contribuiu significativamente para as emissões de GEE. Quanto aos resíduos sólidos urbanos, a elevada destinação de resíduos a lixões (42,67%) e a baixa cobertura da coleta seletiva (5,96%) favorecem a emissão de metano. Em relação ao esgotamento sanitário, embora 92,11% do esgoto coletado tenha sido tratado, apenas 33,07% da população tem acesso à rede, o que amplia o risco de emissões não controladas, especialmente de metano, devido à decomposição inadequada dos resíduos orgânicos.

2.2.3. Energia estacionária

GERAÇÃO DE ENERGIA

Conforme dados do Balanço Energético Nacional (BEN, 2024), em 2023, a geração de eletricidade no Ceará teve como principal fonte a energia eólica, que representou 71% da matriz elétrica estadual, seguida pela energia solar (25%).

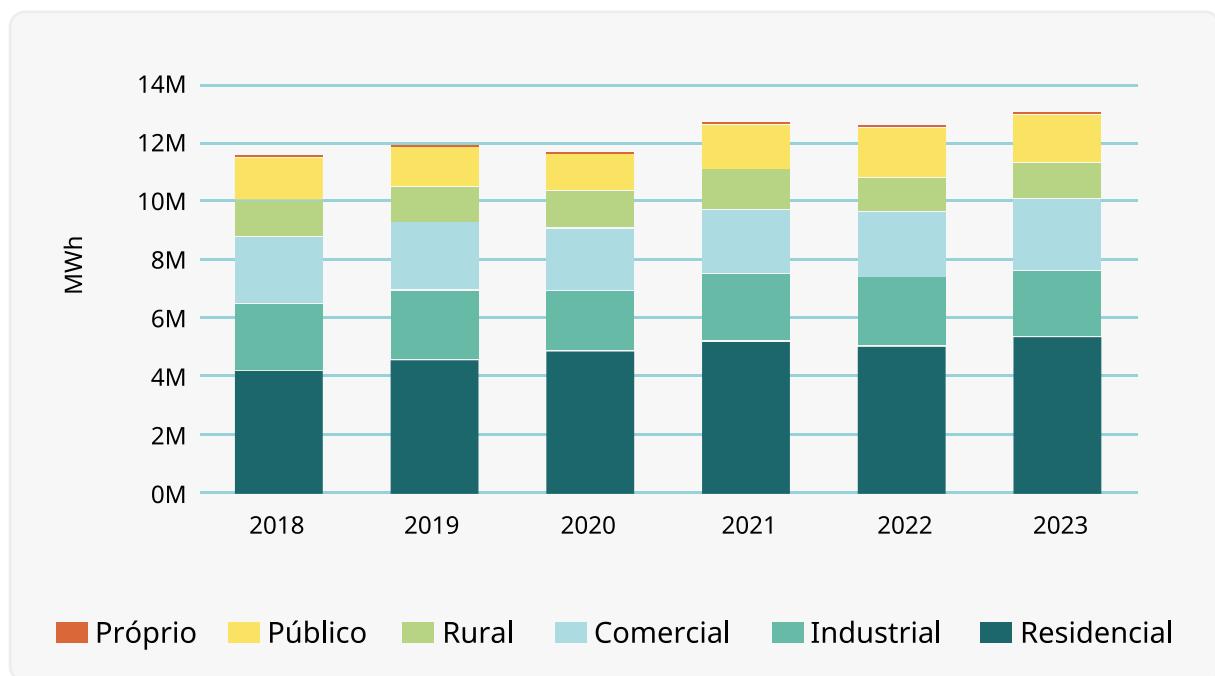
Na comparação regional, a energia eólica também liderou a geração elétrica no Nordeste, respondendo por 55% do total produzido, seguida pela energia hidrelétrica (22%) e solar (11%). No cenário nacional, a geração elétrica ainda é majoritariamente hidrelétrica, correspondendo a 57% da matriz brasileira, enquanto as fontes eólica e solar representaram, respectivamente, 13% e 7% (BEN, 2024).

CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Em 2023, o consumo total de energia elétrica no estado do Ceará alcançou 13.027.256 MWh ao longo do ano. O setor residencial representou a maior parcela desse consumo (aproximadamente 41,5% do total), seguido pelos setores comercial (18%), industrial (17,8%) e público (13,3%). Os setores rural e próprio tiveram participações menores, com 9,3% e 0,2%, respectivamente (IPECE, 2023).

De acordo com o IPECE (2023), entre 2018 e 2023, o consumo total variou de 11.575.659 MWh a 13.027.256 MWh, enquanto o número de consumidores de energia elétrica cresceu de 3.543.521 para 4.406.218 — um aumento de cerca de 24%. Esse crescimento do consumo ocorreu de forma variável durante o período analisado: com crescimento entre 2018 e 2019, uma leve retração em 2020 e retomada a partir de 2021. Apesar da oscilação entre os anos, observa-se uma relativa estabilidade na participação proporcional dos diferentes setores de consumo (Figura 7).

Figura 7. Consumo de energia elétrica por setor e ano no Ceará



Fonte: ICLEI adaptado de IPECE, 2025.

CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

32

O consumo de óleo combustível no Ceará foi de 2,14 milhões de litros, sendo 54,76% utilizado pela indústria e 45,24% por outros setores não especificados. Já o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) teve um consumo de 289,4 milhões de kg, dos quais a maior parte foi direcionada ao setor residencial (87,5%). O restante foi distribuído entre os setores comercial (6,2%), industrial (6,15%), agrícola (0,14%) e público (0,01%) (ANP, 2023).

Em relação ao óleo diesel, o consumo total em 2023 foi de aproximadamente 1,14 bilhão de litros. Desse volume, 90,39% foram destinados ao setor de transporte. Os setores industrial e comercial representaram, respectivamente, 5,13% e 2,70% do consumo. As demais aplicações — agricultura (1,08%), setor público (0,19%) e outros usos (0,09%) — somaram juntas 1,36% do total consumido (ANP, 2023).

2.2.4. Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra

USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

Conforme dados do MapBiomass, em 2023, a cobertura do solo no estado do Ceará foi majoritariamente composta por vegetação natural, com 67,75% da área classificada como Floresta. A categoria de Vegetação Arbustiva e Herbácea teve baixa representatividade, com apenas 0,28% do território. Os corpos d'água cobriram 1,44% do território estadual, mantendo-se como uma fração modesta da paisagem.

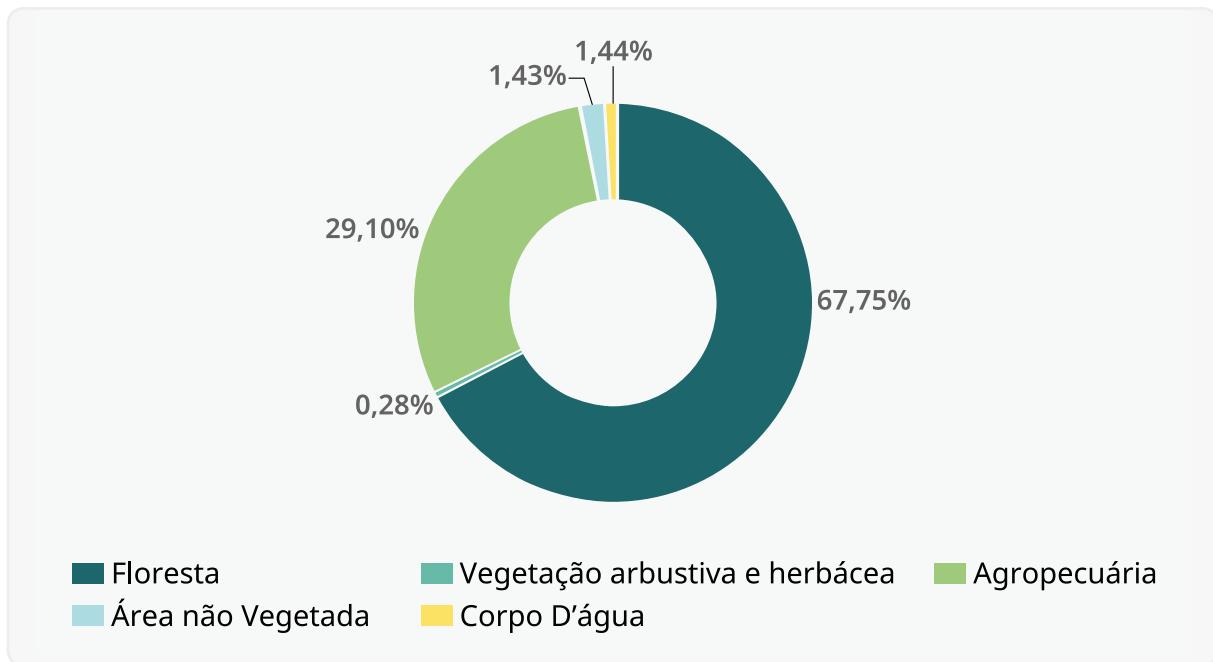
A atividade agropecuária correspondeu a 29,10% da cobertura do solo cearense. Desse total, as pastagens ocuparam a maior parte (64,12%), seguidas por áreas de agricultura (13,58%) e mosaicos de usos (22,30%). Não foi registrada silvicultura no estado nesse período (Projeto MapBiomass, 2023).

As áreas não vegetadas representaram 1,43% da superfície, sendo compostas, principalmente, por áreas urbanizadas (68,80%), praias (25,32%), mineração (1,34%) e outras áreas não especificadas (4,54%) (Projeto MapBiomass, 2023).

Em relação ao Brasil, no mesmo ano, a cobertura do solo foi majoritariamente por áreas naturais, com destaque para a vegetação florestal, que ocupava 61,47% do território nacional. As atividades agropecuárias corresponderam a aproximadamente 30% da área do país, refletindo a forte presença do setor primário na ocupação territorial. Áreas cobertas por vegetação arbustiva e herbácea representaram 5,72%, enquanto os corpos d'água ocupavam 2,15% da superfície nacional. As áreas não vegetadas somaram 0,66% do território, sendo que, dentro desse grupo, cerca de 65% eram classificadas como áreas urbanizadas (Projeto MapBiomass, 2023).

A nível regional, a distribuição do uso da terra apresenta variações entre os estados nordestinos. Na Bahia, 50% do território era ocupado por cobertura florestal e 45% por atividades agropecuárias. Em Pernambuco, a floresta representava 53% da área, enquanto a agropecuária abrangia 44%. Por fim, no Piauí, a vegetação florestal predominava de forma mais expressiva, cobrindo 79% do território estadual, enquanto as atividades agropecuárias ocupavam 18% (Projeto MapBiomass, 2023).

A Figura 8 a seguir demonstra a cobertura e uso da terra no Ceará.

Figura 8. Cobertura e uso da terra no Ceará em 2023

Fonte: ICLEI adaptado de Projeto MapBiomas, 2023.

Isto é, o Ceará apresenta uma proporção de cobertura vegetal superior à média brasileira e de outros estados nordestinos, como Bahia e Pernambuco, que possuem mais de dez pontos percentuais de uso por atividades agropecuárias.

AGROPECUÁRIA

Conforme a pesquisa de Produção Agrícola Municipal do IBGE (SIDRA, 2023b), em 2023, a produção agrícola do Ceará destacou-se pela predominância de cultivos como mandioca (33,39%), cana-de-açúcar (25,52%) e milho (16,52%). Outros cultivos de destaque incluíram o tomate (8,48%) e a batata-doce (7,50%). Em menor escala, também foram registradas produções de feijão (3,12%), melão (3,02%), arroz e soja (ambos com 0,88%), sorgo (0,21%), cebola (0,11%) e algodão (0,27%). Culturas como o abacaxi, amendoim, mamona e fumo tiveram participação inferior a 0,1% na produção total.

Quanto ao rebanho animal, por meio da Pesquisa da Pecuária Municipal (SIDRA, 2023a), o setor avícola foi o mais representativo, com os galináceos totalizando 59,90% do efetivo, dos quais 24,93% eram galinhas poedeiras. O rebanho bovino representou 4,45% do total, sendo 1,12% composto por vacas ordenhadas. Os rebanhos ovino e caprino também tiveram relevância, com 4,08% e 1,86%, respectivamente. Já os suínos responderam por 2,05% do rebanho, incluindo 0,35% de matrizes. Outros animais como equinos (0,22%) e codornas (1,03%) compuseram o restante do efetivo pecuário cearense (SIDRA, 2023a).

A comparação dos dados agropecuários do Brasil e da região Nordeste em 2023 demonstra diferenças na estrutura produtiva e na representatividade de determinadas culturas e criações. No total, a produção agropecuária brasileira somou cerca de 1,19 bilhão de toneladas, enquanto o Nordeste respondeu por aproximadamente 104,5 milhões de

toneladas, cerca de 8,8% da produção nacional. A cana-de-açúcar foi o principal produto agrícola tanto no Brasil (66%) quanto no Nordeste (57%) (SIDRA, 2023b).

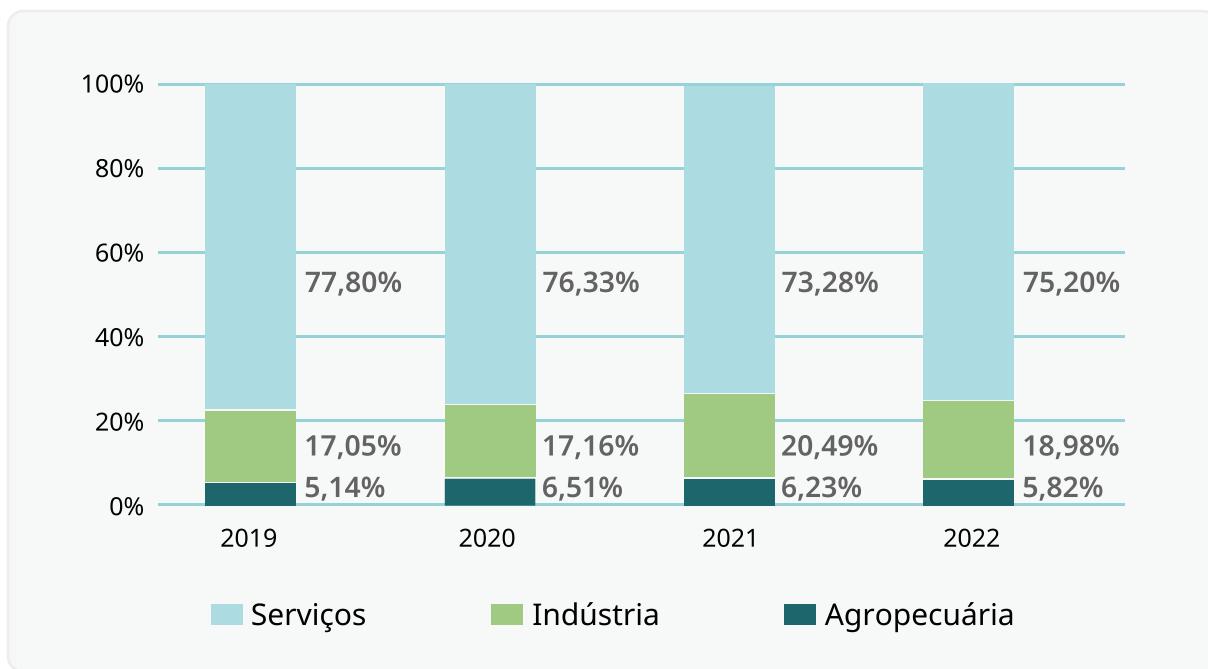
No tocante à pecuária, o rebanho nordestino representou aproximadamente 281 milhões de cabeças, o que equivale a cerca de 14,7% do efetivo nacional (1,92 bilhão). Embora o número de bovinos seja expressivo, 35,3 milhões no Nordeste (13% do total nacional), a região se destaca pelas criações de caprinos e ovinos, respondendo por 96% e 71% dos rebanhos brasileiros, respectivamente. Os galináceos representam 74% da produção animal nordestina, alinhando-se à tendência nacional, onde essa categoria responde por 82% do total. O Nordeste também concentra mais de 20% do total de codornas do país, reforçando sua especialização em avicultura de pequeno porte (SIDRA, 2023a).

Assim, a agropecuária do Ceará, marcada pelo cultivo intensivo de mandioca, cana-de-açúcar e milho, e pela predominância da avicultura, tem impacto relevante nas emissões de GEE no estado, o que será tratado no tópico 4.3.

2.2.5. Setores produtivos

O estado do Ceará possui uma economia baseada predominantemente no setor de Serviços, que respondeu por 75,2% do Valor Adicionado Bruto (VAB) estadual em 2022, seguido pela Indústria (18,98%) e pela Agropecuária (5,82%). Em 2024, os três setores registraram crescimento, com destaque para a Agropecuária, que avançou 25,16% em relação a 2023, impulsionada pela boa safra de milho, feijão e mandioca, além do aumento na produção de frutas e da atividade pecuária (IPECE, 2025).

A Indústria também apresentou crescimento, com alta de 10,65% e destaque para a Indústria de Transformação — em especial os segmentos têxtil, de calçados e metalurgia — e para o Setor da Construção, impulsionado por investimentos públicos e privados. Já o setor de Serviços, cresceu 4,28%, sustentado por atividades como comércio, transporte, alojamento e alimentação, além de serviços prestados às famílias e financeiros. Apesar de ter apresentado um crescimento menor do que em 2023, quando registrou alta de 5,31%, o setor de Serviços continua sendo a principal base da economia cearense, conforme apresentado na Figura 9 (IPECE, 2025).

Figura 9. Evolução da Participação do Valor Adicionado por Setor no Ceará (2019 - 2023)

Fonte: ICLEI adaptado do IPECE, 2025.

Em relação a empregabilidade, em 2022, o estado do Ceará contabilizou 1.651.737 empregados formais, o que representou um crescimento de 8,03% em relação ao ano anterior. O número de estabelecimentos registrados no estado totalizou 199.463, apresentando uma redução de 6,32% em comparação com o ano anterior. Os principais setores econômicos em número de trabalhadores foram: Administração Pública, Defesa e Seguridade Social, com 383.423 vínculos; Comércio Varejista, com 204.139; e Educação, com 88.380 empregados (SEBRAE, 2022).

No comparativo regional no ano de 2022, outros estados nordestinos apresentaram perfis semelhantes em termos de setores econômicos predominantes e estrutura empresarial, com destaque para o setor público e o comércio varejista como principais empregadores. Na Bahia, os setores que mais concentraram trabalhadores foram Administração Pública, Defesa e Seguridade Social (620.865), Comércio Varejista (354.234) e Saúde Humana (148.629). Pernambuco seguiu padrão semelhante, com 406.220 pessoas empregadas na Administração Pública, 230.322 no Comércio Varejista e 97.185 na Saúde. Por fim, Piauí, os maiores empregadores foram Administração Pública (162.689), Comércio Varejista (73.011) e Educação (23.741) (SEBRAE, 2022).

2.3. PERÍODO COBERTO PELO INVENTÁRIO

O método GPC recomenda que os inventários cubram, minimamente, um período contínuo de 12 meses, idealmente alinhado a um ano civil ou financeiro, consistente com os períodos comumente usados pelas entidades. Para o Inventário de Emissões de GEE do Estado do Ceará, a presente análise contabiliza as emissões referentes ao período de 2018 a 2023.

2.4. COLETA DE DADOS

A coleta de dados é uma etapa primordial para a construção de qualquer inventário de GEE e, para este Relatório do IEGEE do Ceará, reflete um esforço contínuo na compilação de informações. A equipe da Coordenadoria de Desenvolvimento Sustentável da Secretaria do Meio Ambiente e Mudança do Clima do Ceará (CODES-SEMA), com o apoio técnico do ICLEI, tem realizado o levantamento das informações necessárias, seguindo a segmentação por setores e subsetores propostos pelo GPC, e enviado ofícios às instituições detentoras dos dados. O Quadro 5 apresenta uma descrição geral dos setores, suas respectivas fontes de emissão e os tipos de órgãos fornecedores de dados.

Quadro 5. Setores e subsetores considerados no IEGEE do Ceará

Setor	Subsetor	Origem das emissões	Fornecedor de dados
I. Energia Estacionária	I.1 - Edifícios residenciais; I.2 - Edifícios comerciais e institucionais; I.3 - Indústrias de manufatura e construção; I.4 - Indústria de energia; I.5 - Atividades agrícolas, florestais e de pesca;	Combustão estacionária (consumo de Gás Natural, Gás Liquefeito de Petróleo - GLP e óleo diesel), provenientes do consumo de energia elétrica e de atividades relacionadas ao setor da mineração.	<ul style="list-style-type: none"> • Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) • CEGÁS • ENEL - Ceará • Superintendência Estadual do Meio Ambiente • AECIPP • SEINFRA - CE
II. Transportes	II.1 - Rodoviário; II.2 - Ferroviário; II.3 - Aviação.	Emissões provenientes de combustão em fontes móveis como veículos e trens.	<ul style="list-style-type: none"> • ANP • ARCE • DNIT - Ceará • ANAC • DETRAN - CE
III. Resíduos	III.1 - Disposição de resíduos em aterros sanitários; III.2 - Incineração e queima a céu aberto; III.3 - Disposição de efluentes líquidos domésticos (população sem esgotamento sanitário, volume de efluente tratado por tipo de tratamento).	Emissões provenientes da disposição de resíduos sólidos urbanos e do tratamento de efluentes sanitários.	<ul style="list-style-type: none"> • SNIS/SINISA • Marquise Ambiental • CAGECE • Serviços Autônomos de Água e Esgoto do Estado do Ceará • SISAR Fortaleza - Sistema Integrado de Saneamento Rural • ASMOC/CGIRS

Setor	Subsetor	Origem das emissões	Fornecedor de dados
IV. Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU)	IV.1 - Processos industriais; IV.2 - Uso de Produtos.	Não foram destacadas emissões diretas, relacionadas aos processos industriais e uso de produtos, dentro do setor de IPPU.	<ul style="list-style-type: none"> • FIEC • AECIPP
V. Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU)	V.1 - Rebanhos: (bovinos, equinos, caprinos, ovinos e suínos); V.2 - Uso da terra: (supressão e remoção vegetal); V.3 - Emissões agregadas e outras de não-CO₂ (aplicação de calcário, ureia e nitrogênio).	Emissões provenientes de metano produzido nos processos digestivos da pecuária (animais ruminantes), manejo de nutrientes para fins agrícolas, mudanças no uso da terra que alteram a composição do solo e aplicação de fertilizantes.	<ul style="list-style-type: none"> • MapBiomass • Dados sobre emissões - SEEG • IBGE - SIDRA • ANDA • ABRACAL • UNICA

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Para a coleta de dados, a SEMA enviou ofícios, com apoio do ICLEI, às instituições detentoras dos dados, solicitando as informações das atividades emissoras no Ceará entre 2018 e 2023. Na ocasião de existir dados públicos, estes foram coletados de fontes como IBGE para agropecuária, SNIS/SINISA para resíduos sólidos, MapBiomass para transição de uso da terra, UNICA para a produção de cana-de-açúcar e etanol, e as estimativas do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) para o setor de Mudança do Uso da Terra e Floresta.

Para a elaboração e cálculo das estimativas de emissões, foi utilizada a plataforma Climas, um software de cálculo desenvolvido pela WayCarbon. Essa ferramenta possui um banco de dados com fatores de emissão segundo o IPCC e permite a inserção e tratamento dos dados de atividade, auxiliando na visualização dos resultados por setor, escopo e ano, de forma a identificar oportunidades de redução e monitorar a eficácia das ações de mitigação. A parametrização da ferramenta e o uso dos dados de atividade disponíveis no Climas permitiram a preparação dos gráficos e análises contidos neste relatório.

Ressalta-se que este relatório consolidado foi elaborado a partir do melhor conjunto de informações disponíveis em escala estadual, considerando dados coletados e validados junto às instituições responsáveis. Ainda assim, reconhece-se que a atualização contínua das bases e o aprimoramento dos sistemas de monitoramento poderão, futuramente, refinar e complementar as análises aqui apresentadas.

As limitações específicas de dados por setor são detalhadas ao longo do Capítulo 4, onde indicamos as lacunas que esperamos preencher nas próximas etapas do projeto, conforme as recomendações delineadas na seção a seguir.

2.4.1. Limitações e Recomendações

O processo de coleta de dados para inventários de emissões, especialmente em uma escala estadual abrangente, pode apresentar desafios significativos.

É importante observar que, para a elaboração deste relatório, com base nos dados parciais recebidos e na parametrização realizada na plataforma Climas, a análise e os valores apresentados fazem parte das emissões de Escopo 1. Isso significa que as emissões diretas, geradas dentro dos limites geográficos do estado, são os componentes detalhados neste inventário. As emissões de Escopo 2 (emissões indiretas pelo consumo de eletricidade da rede nacional) e Escopo 3 (outras emissões indiretas, resultantes de atividades do estado, mas ocorrendo fora de seus limites), não foram calculadas devido à falta de recebimento de dados de atividade em tempo hábil.

A experiência na elaboração de inventários de GEE e o próprio andamento deste projeto indicam que algumas limitações são recorrentes:

- **Disponibilidade e Fluxo de Informação:** A ausência ou o atraso na disponibilização de dados por parte de algumas instituições é um obstáculo comum, especialmente quando é a primeira vez que um inventário é realizado para determinados dados de atividades que não eram monitorados rotineiramente. A necessidade de redesenhar fluxos de comunicação, muitas vezes devido a mudanças de pontos focais nas instituições parceiras, também pode acarretar em atrasos e demandar esforço adicional da equipe.
- **Fontes de Dados Alternativas e Incerteza:** Na falta de dados primários e específicos, é necessário recorrer a fontes alternativas, como universidades, dados públicos de abrangência nacional (e.g., ANP, IBGE, EPE-BEN, SEEG) ou regionais, ou ainda a recursos matemáticos (como interpolação e extrapolação) para estimar emissões. Embora essenciais para garantir a completude do inventário, essas alternativas podem introduzir um nível de incerteza nas estimativas finais.

Para mitigar esses desafios e aprimorar as futuras edições do inventário, algumas recomendações são fundamentais:

- **Fortalecimento da Comunicação e Cooperação Institucional:** É crucial que os dados sejam disponibilizados de forma sistematizada, evitando a concentração em indivíduos. Com participação ativa das secretarias e órgãos estaduais relevantes, além de reuniões de alinhamento periódicas.
- **Documentação e Transparência:** A documentação detalhada de todas as atividades realizadas, das fontes de dados utilizadas e das hipóteses assumidas é essencial para a transparência e rastreabilidade do inventário, permitindo futuras revisões e replicações.
- **Melhoria Contínua:** As dificuldades encontradas na obtenção de dados servem como pontos de atenção para aprimoramentos. Para as próximas edições do Inventário de Emissões de GEE do Ceará, busca-se a melhoria contínua na

2.5. GASES DE EFEITO ESTUFA

De acordo com o GPC, os inventários devem contemplar os diferentes tipos de GEE que fazem parte do reporte do Protocolo de Kyoto, sendo os seis principais: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF₆).

Cada GEE possui um Potencial de Aquecimento Global (GWP – Global Warming Potential) associado, que é a medida do quanto cada gás contribui para o aumento das temperaturas globais. O GWP é um coeficiente relativo que compara o potencial de aquecimento de uma determinada quantidade de gás com a mesma quantidade de CO₂, que, por convenção, tem GWP de valor igual a 1. Assim, o GWP é sempre expresso em termos de equivalência de CO₂ (CO₂e).

Os valores de GWP podem ser atualizados ao longo do tempo de acordo com novas descobertas em termos de estimativa de impacto dos gases. Essas atualizações são reportadas em relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change). A Tabela 1 apresenta os valores de GWP utilizados no atual Inventário do Ceará, provenientes do [Quinto Relatório de Avaliação \(AR5 – Fifth Assessment Report\)](#) do IPCC (2013).

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 cearense.

40

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

Fonte: IPCC, 2013.

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 Ceará.

Os principais GEE e suas atividades geradoras podem ser observados abaixo.

Quadro 6. Principais GEE e suas atividades geradoras

CO ₂	Gerado na queima de combustíveis fósseis (como carvão, petróleo, gás natural e seus derivados) por fontes móveis e estacionárias, em processos industriais, pelo uso de fertilizantes calcário dolomítico e ureia e pelo desmatamento de floresta nativa;
CH ₄	Gerado na queima de combustíveis por fontes móveis e estacionárias, na decomposição de matéria orgânica em processos de tratamento anaeróbio de efluentes e resíduos sólidos, fermentação entérica de animais e manejo de dejetos animais;
N ₂ O	Gerado na queima de combustíveis por fontes móveis e estacionárias, em processos de tratamento de efluentes e uso de fertilizantes nitrogenados;

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

2.6. MÉTODO DE CÁLCULO

Os fatores de emissão utilizados para cada tipo de fonte foram coletados em bases nacionais, como o 4º Inventário Nacional (MCTI, 2021) e, quando não disponíveis, em bases de dados internacionais, como os relatórios do IPCC. De maneira simplificada, as estimativas de emissões e remoções podem ser calculadas a partir do uso da fórmula geral a seguir:

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

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 Inventário;
E _{i,g,y}	Emissões ou remoções de GEE <i>g</i> atribuível à fonte ou sumidouro <i>i</i> durante o ano <i>y</i> , em tCO ₂ e;
DA _{i,y}	Dado de atividade consolidado referente à fonte ou sumidouro <i>i</i> durante o ano <i>y</i> ;
FE _{i,g,y}	Fator de emissão ou remoção de GEE <i>g</i> atribuível à fonte ou sumidouro <i>i</i> durante o ano <i>y</i> , em t GEE g/u;
GWP _g	Potencial de aquecimento global de GEE <i>g</i> , em tCO ₂ e/ t GEEg.

O Inventário de Emissões de GEE do Ceará está sendo elaborado com o apoio do software Climas, que possui um banco de dados com os fatores de emissão para

cada tipo de fonte. Os dados coletados até o momento foram inseridos e processados nessa ferramenta, previamente parametrizada pela equipe técnica, permitindo o ajuste das unidades de medida e a visualização dos resultados de diferentes maneiras: desagregadas por setor ou subsetor de emissão, por escopo, por ano de emissão, entre outras. Consumos de combustíveis como gasolina e diesel também consideraram a variação do percentual de biocombustíveis em suas composições.

3. RESULTADOS DO INVENTÁRIO

Este capítulo apresenta os resultados do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) do Estado do Ceará para o período de 2018 a 2023. As informações aqui contidas são o produto de uma avaliação abrangente dos dados de emissões coletados e compilados, fornecendo uma base sólida para a compreensão do perfil de emissões de GEE do Ceará.

Para uma correta interpretação dos dados apresentados, é fundamental distinguir entre as emissões brutas e as emissões líquidas:

- **Emissões Brutas:** Referem-se à quantidade total de GEE lançados na atmosfera por diversas atividades antrópicas, sem considerar a capacidade de remoção desses gases por sumidouros naturais ou manejados.
- **Emissões Líquidas:** Representam o balanço final entre as emissões brutas e as remoções de GEE da atmosfera. As remoções ocorrem, por exemplo, por meio do sequestro de carbono em florestas e outras formações vegetais. O valor das emissões líquidas é crucial, pois indica o impacto real das atividades humanas no aumento da concentração de GEE na atmosfera.

No período analisado, 2018 a 2023, o Estado do Ceará registrou um volume acumulado de 160.193.903 milhões de toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂e) em emissões líquidas. Este montante reflete a contribuição líquida das atividades do estado para as concentrações atmosféricas de GEE. A Tabela 2 detalha a evolução anual das emissões líquidas no Ceará durante este período.

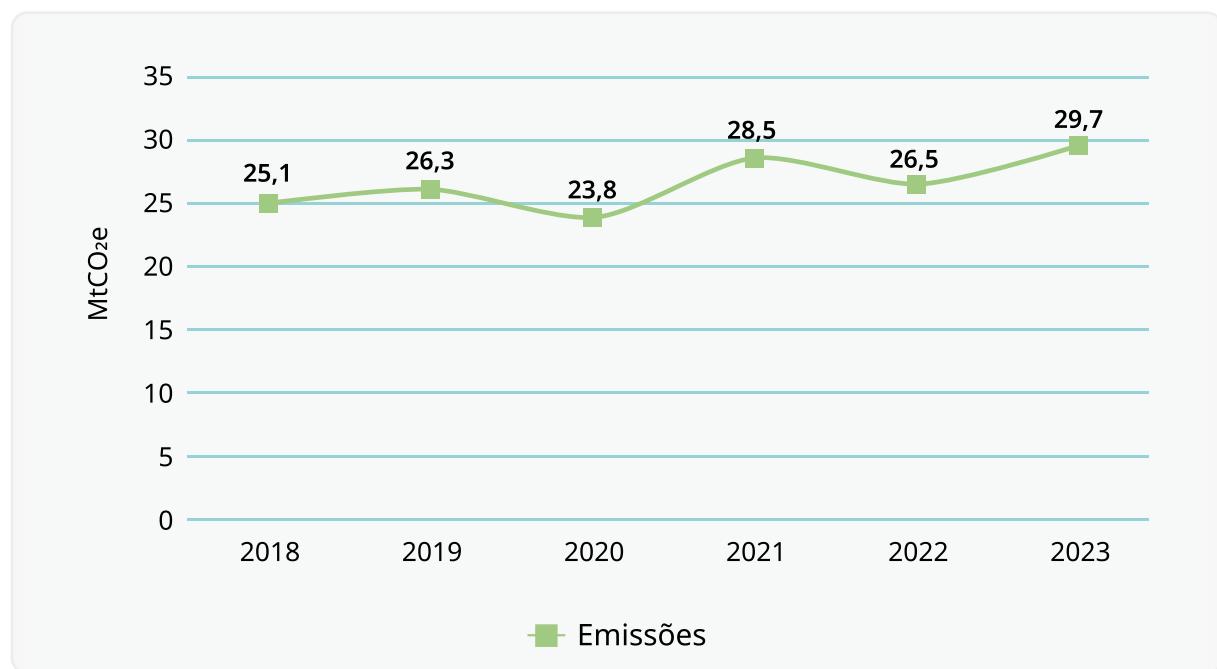
Tabela 2. Evolução anual das emissões líquidas no Ceará (2018-2023)

Ano	Emissões Líquidas (tCO ₂ e)
2018	25.146.852
2019	26.314.815
2020	23.898.518
2021	28.517.354
2022	26.574.544
2023	29.741.820
Total	160.193.903

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Ao longo da série histórica, observa-se que as emissões líquidas iniciaram o período em 25.146.852 tCO₂e em 2018, atingiram um pico em 28.517.354 tCO₂e em 2021, e encerraram em 29.741.820 tCO₂e em 2023. Uma leve retração foi verificada em 2020, o que pode ser associado às flutuações das atividades econômicas influenciadas pelo cenário global da pandemia de COVID-19. No entanto, a tendência geral do período revela um aumento de 18,27% nas emissões líquidas entre o primeiro e o último ano de análise. A Figura 10 ilustra a trajetória anual das emissões líquidas de GEE no Estado do Ceará, evidenciando as oscilações e o crescimento geral observado.

Figura 10. Evolução das emissões de GEE para o estado do Ceará (2018 - 2023)



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

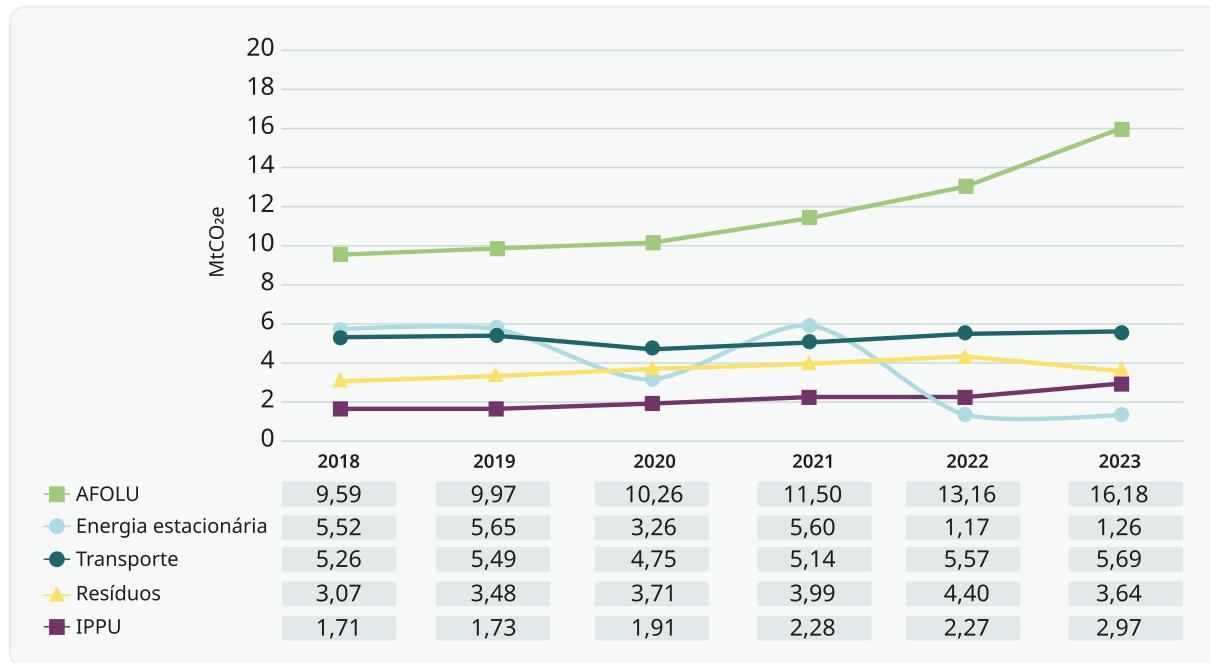
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS POR SETOR

Este capítulo aprofunda a análise dos resultados do Inventário de Gases de Efeito Estufa (GEE) do Ceará, examinando as emissões por setor de atividade para o período de 2018 a 2023. A compreensão do perfil de emissões de cada setor é fundamental para direcionar de forma estratégica as políticas públicas e as ações de mitigação, promovendo um desenvolvimento mais sustentável e alinhado aos compromissos climáticos do estado.

Para esta avaliação, foram considerados os seguintes setores: Transportes, Energia Estacionária, Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU), Resíduos e Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU).

O perfil das emissões líquidas do estado do Ceará, desagregado por setor para cada ano da série histórica, apresenta-se como detalhado e ilustrado na Figura 11.

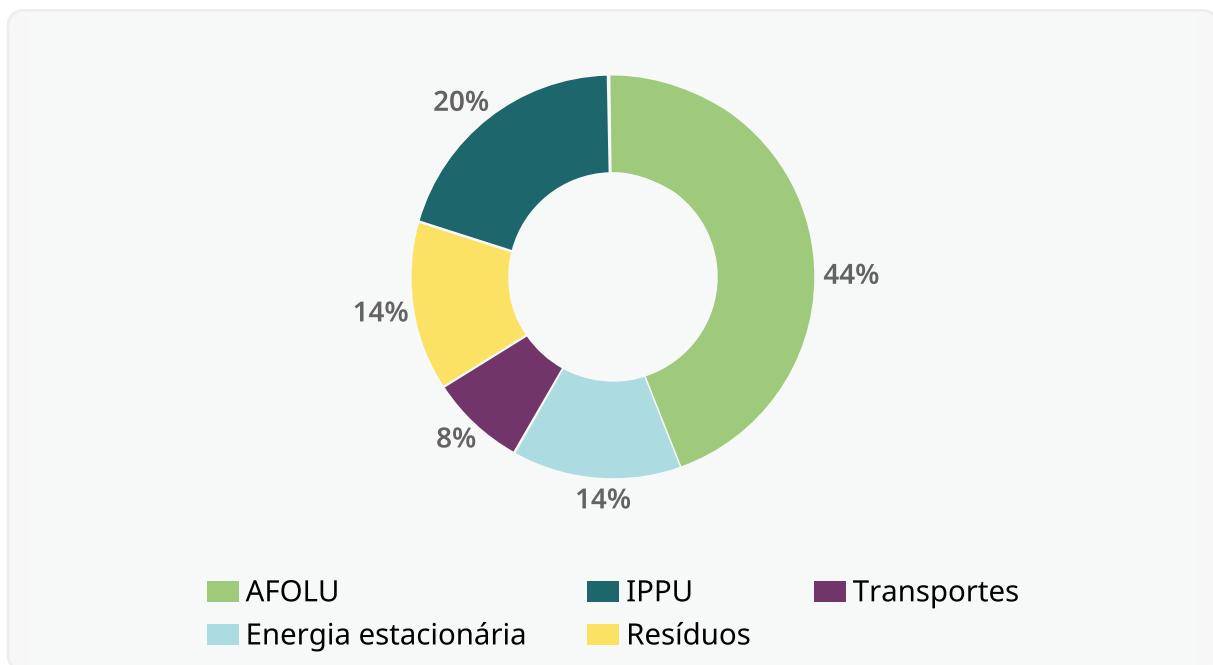
Figura 11. Perfil das emissões por setor (2018 - 2023)



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Ao longo do período analisado, a média anual de emissões líquidas do estado foi de 26.698.984 tCO₂e. A distribuição percentual média por setor neste período é ilustrada na Figura 12.

Figura 12. Média anual de emissões líquidas do Ceará (2018 - 2023)



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

A seguir, cada setor será analisado em profundidade, detalhando as principais fontes de emissão, suas tendências e o impacto geral no balanço de GEE do estado.

4.1. SETOR DE TRANSPORTES

As emissões desse setor são oriundas do consumo de gasolina, etanol, óleo diesel, gasolina de aviação e querosene de aviação para os diferentes modais de transporte presentes no estado. É importante ressaltar que, para este relatório, não foram recebidos dados referentes ao consumo de energia elétrica e de Gás Natural Veicular (GNV) para transportes. As emissões foram calculadas a partir de dados provenientes da comercialização de combustíveis, adotando como premissa que todo combustível vendido dentro da fronteira do estado é utilizado para a locomoção dos veículos que circulam dentro do mesmo.

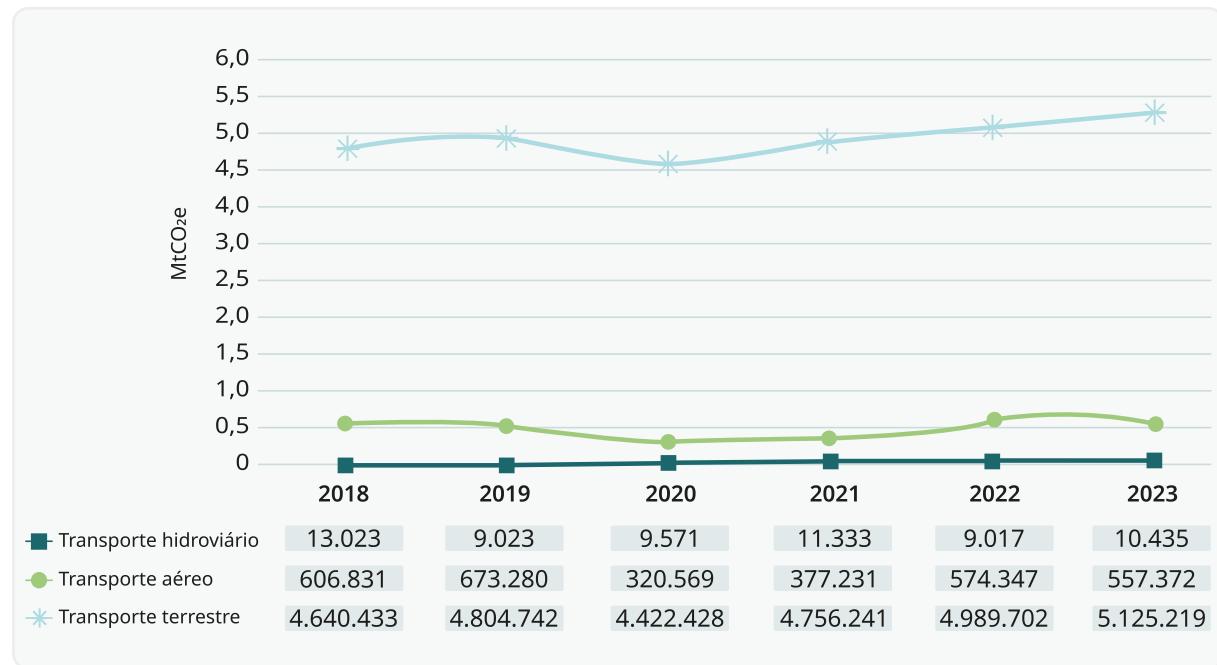
No período de 2018 a 2023, as emissões acumuladas do setor de Transportes no Ceará totalizaram 31.910.796 milhões de toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂e). Ao longo da série histórica, o setor demonstrou um crescimento de 8,23%, passando de 5.260.287 tCO₂e em 2018 para 5.693.026 tCO₂e em 2023. Essa trajetória reflete a intensificação das atividades de transporte no estado, com flutuações anuais decorrentes de diversos fatores, incluindo a recuperação econômica pós-período de pandemia.

A distribuição das emissões por modal de transporte e por tipo de combustível revela os principais impulsionadores dessa contribuição.

4.1.1. Emissões por modal de transporte

A distribuição das emissões no setor de Transportes por modal demonstra a predominância do transporte terrestre. Como ilustrado na Figura 13.

Figura 13. Distribuição das emissões de GEE do setor de Transportes



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

- **Transporte Terrestre:** acumulou 28.738.765 tCO₂e, sendo a categoria mais representativa. Suas emissões cresceram de 4.640.433 tCO₂e em 2018 para 5.125.219 tCO₂e em 2023, um aumento de 10,5% no período. Essa dinâmica é impulsionada pela expansão da frota veicular e pela crescente demanda por deslocamentos rodoviários de passageiros e cargas.
- **Transporte Aéreo:** totalizou 3.109.630 tCO₂e em emissões no período. Suas emissões apresentaram flutuações notáveis, partindo de 606.831 tCO₂e em 2018 e chegando a 557.372 tCO₂e em 2023, o que representa uma redução de 8,15%. A queda mais acentuada ocorreu em 2020, refletindo diretamente as restrições de voos e a diminuição da demanda durante a pandemia de COVID-19.
- **Transporte Hidroviário:** contribuiu com 62.401 tCO₂e no total acumulado. As emissões deste modal reduziram de 13.023 tCO₂e em 2018 para 10.435 tCO₂e em 2023, representando uma queda de 19,88%. Essa diminuição pode estar associada a flutuações na demanda por transporte aquaviário ou a melhorias na eficiência das operações.

4.1.2. Emissões por tipo de combustível

A queima de combustíveis fósseis representa a principal fonte de emissões no setor de Transportes. A análise por tipo de combustível consumido revela que a gasolina e o diesel são os maiores responsáveis pelas emissões, refletindo a predominância desses combustíveis na frota veicular do estado (Tabela 3).

Tabela 3. Emissões por tipo de combustível

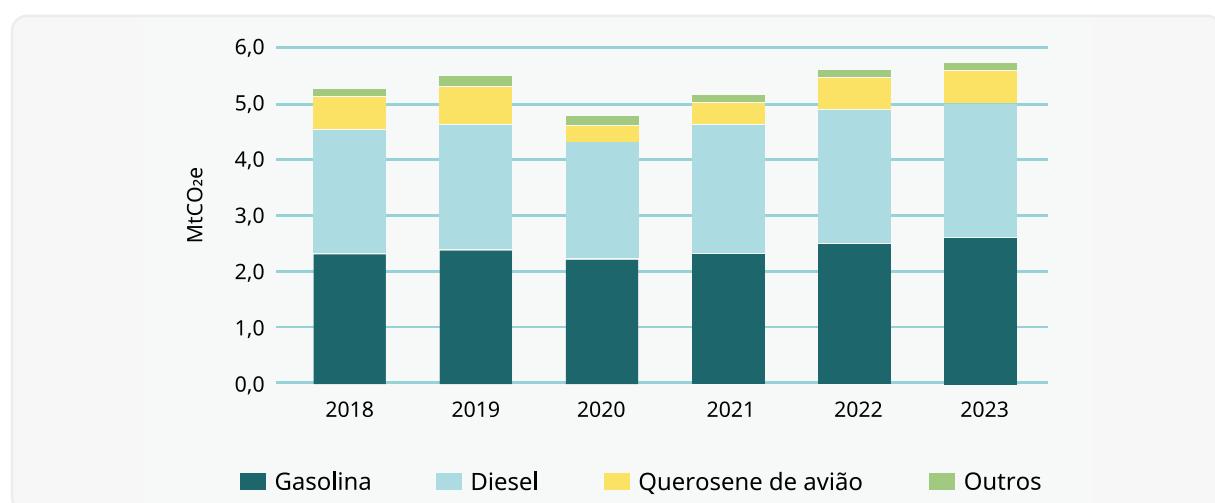
Combustível	2018 (tCO ₂ e)	2019 (tCO ₂ e)	2020 (tCO ₂ e)	2021 (tCO ₂ e)	2022 (tCO ₂ e)	2023 (tCO ₂ e)
Gasolina	2.304.765	2.400.942	2.215.520	2.298.805	2.480.114	2.599.942
Diesel	2.238.869	2.238.418	2.083.468	2.332.888	2.418.301	2.452.184
Querosene de avião	605.688	672.472	320.000	376.354	573.543	556.401
Outros	110.964	175.212	133.581	136.758	101.108	84.498

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

A gasolina e o diesel respondem pela vasta maioria das emissões do setor de Transportes. Ambos os combustíveis apresentaram crescimento nas emissões ao longo do período, acompanhando a expansão da frota de veículos rodoviários e a intensificação do uso de transportes de carga e passageiros no estado.

O querosene de aviação é o terceiro maior contribuinte, mas suas emissões foram significativamente impactadas em 2020, refletindo a redução das atividades aéreas. Embora tenha havido uma recuperação, os níveis de emissão ainda se mantiveram abaixo dos observados antes da pandemia. A categoria Outros, que agrupa o Gás Natural Veicular (GNV), o Etanol Hidratado e a Gasolina de Aviação, apresentou uma redução de 25,89% no período. Conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 14. Evolução das emissões no setor de Transportes por tipo de combustível



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

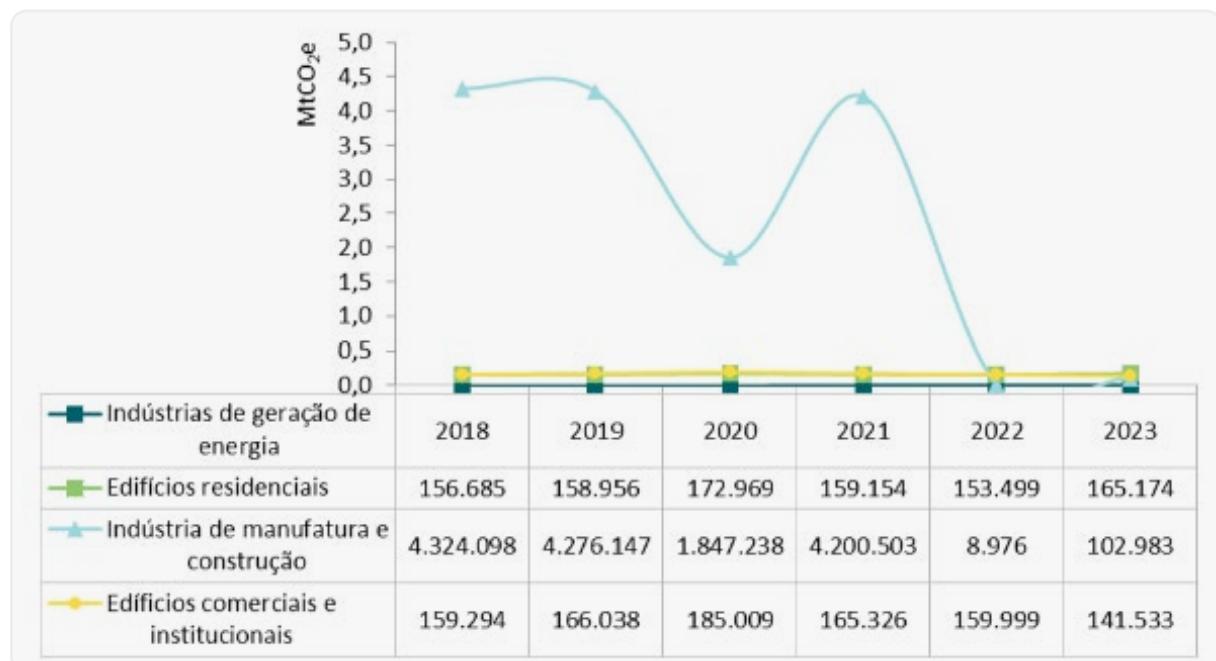
4.2. SETOR DE ENERGIA ESTACIONÁRIA

As emissões do setor de Energia Estacionária são provenientes da queima de combustíveis utilizados para produção de vapor ou energia elétrica, do consumo de energia elétrica, e das perdas técnicas nos sistemas de transmissão e distribuição. Estas emissões são desagregadas em diversos subsetores, como edifícios residenciais, indústrias de manufatura e construção, edifícios comerciais e institucionais, entre outros.

Ao longo do período de 2018 a 2023, as emissões acumuladas do setor de Energia Estacionária no Ceará totalizaram 22.470.084 milhões de toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂e). A trajetória das emissões neste setor apresentou uma marcante redução de 77,10% entre 2018 (5.520.759 tCO₂e) e 2023 (1.264.093 tCO₂e). Esta queda expressiva foi influenciada principalmente pela diminuição do consumo de carvão mineral e gás natural em determinados períodos, como detalhado a seguir.

A análise das emissões por subsetor permite identificar os segmentos de consumo e produção de energia que mais contribuem para as emissões no estado. A Figura 15 ilustra a evolução dessas emissões.

Figura 15. Emissões do setor de Energia Estacionária por subsetor (2018 - 2023)



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

O subsetor de Indústrias de geração de energia é o que mais se destaca, tanto pela magnitude de suas emissões quanto pela drasticidade da redução observada. Em 2018, este subsetor respondia por 4.324.098 tCO₂e, apresentando um pico em 2021 (4.200.503 tCO₂e). Contudo, nos anos de 2022 e 2023, houve uma queda vertiginosa nas emissões (para 8.976 tCO₂e e 102.983 tCO₂e, respectivamente), resultando em uma redução total de 97,60% no período. Essa mudança indica uma alteração significativa na matriz de

geração de energia utilizada por essas indústrias, com uma forte diminuição no uso de fontes mais intensivas em carbono equivalente.

Os Edifícios residenciais representam a segunda maior fonte de emissões no setor, com uma média anual acima de 961.084 tCO₂e, apresentando uma leve redução de 3,06% no período. A Indústria de manufatura e construção também teve uma contribuição relevante, com uma queda de 10,70% em suas emissões. Por outro lado, os Edifícios comerciais e institucionais registraram um aumento de 5,10%, refletindo possivelmente a expansão das atividades nesses segmentos.

4.2.1. Emissões por Tipo de Combustível

A desagregação das emissões por tipo de combustível consumido no setor de Energia Estacionária oferece uma visão mais granular das fontes de GEE. A Tabela 4 detalha a contribuição de cada combustível.

Tabela 4. Emissões por tipo de combustível

Combustível	2018 (tCO ₂ e)	2019 (tCO ₂ e)	2020 (tCO ₂ e)	2021 (tCO ₂ e)	2022 (tCO ₂ e)	2023 (tCO ₂ e)
Carvão mineral	4.324.098	4.276.147	1.847.238	4.200.503	8.976	102.983
GLP	850.050	842.765	874.099	846.116	850.050	864.990
Diesel	262.726	267.632	305.333	272.467	257.616	245.315
Outros	83.885	267.111	235.642	279.014	54.523	50.804

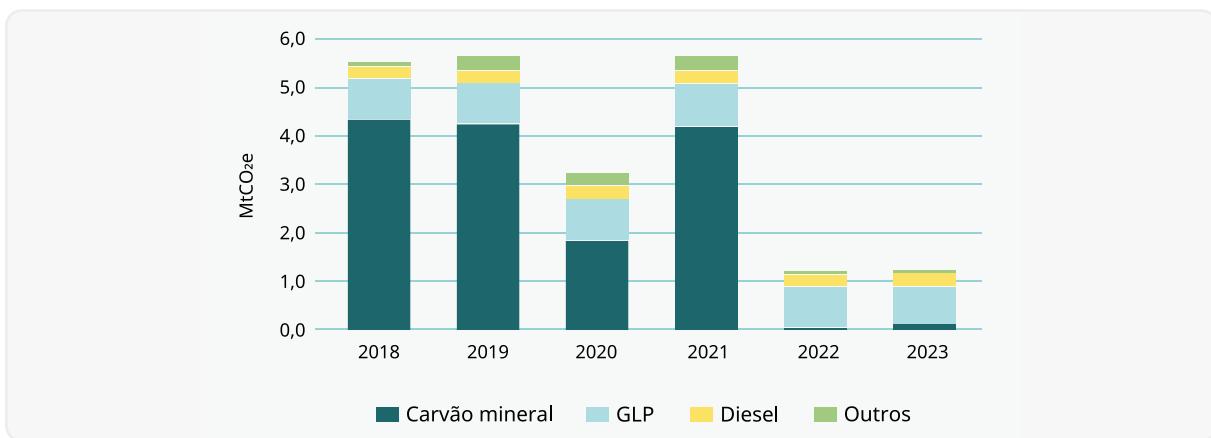
Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

O Carvão mineral é o principal combustível responsável pelas emissões históricas do setor, mas também o que apresenta a maior e mais impactante redução, com uma queda de 97,60% entre 2018 e 2023. Essa diminuição drástica sugere uma mudança na matriz de combustíveis para a geração de energia em indústrias ou uma redução do consumo geral de carvão, impactando significativamente o perfil de emissões do setor.

O Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) é a segunda maior fonte, com emissões estáveis e um leve aumento de 1,76% no período. O Diesel, por sua vez, teve uma redução de 6,84%. A categoria Outros, que agrupa Gás natural, Óleo combustível e Carvão vegetal, apresentou uma queda de 39,29% no período, com flutuações anuais, o que pode indicar variações no consumo desses combustíveis ou a substituição por outras fontes.

A Figura 16 ilustra a evolução das emissões por tipo de combustível no setor de Energia Estacionária.

Figura 16. Emissões do setor de Energia Estacionária por tipo de combustível (2018 - 2023)



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

4.3. SETOR AFOLU

O setor AFOLU (Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra) desempenha um papel central no balanço de Gases de Efeito Estufa do Ceará, pois comprehende tanto fontes de emissão quanto processos de remoção de carbono da atmosfera. As atividades neste setor incluem a pecuária, o cultivo agrícola, as mudanças no uso e cobertura do solo, e a manutenção e recuperação de áreas vegetadas.

No período de 2018 a 2023, o setor AFOLU no Ceará registrou um total acumulado de 70.664.535 milhões de toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂e). A análise da série histórica revela uma trajetória de crescimento significativo, com as emissões passando de 9.589.751 tCO₂e em 2018 para 16.177.069 tCO₂e em 2023, o que representa um aumento de 68,69% no período.

A Figura 17 detalha e ilustra as emissões por subsetor dentro do setor AFOLU, evidenciando os principais impulsionadores dessa dinâmica.

Figura 17. Emissões do setor de AFOLU por subsetor



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

O subsetor de Uso da Terra é o principal responsável pelas emissões no setor AFOLU, com um acumulado de 66.744.730 tCO₂e no período. Suas emissões apresentaram um crescimento de 72,64%, partindo de 8.971.140 tCO₂e em 2018 e atingindo 15.487.845 tCO₂e em 2023. Esse aumento é impulsionado principalmente pela mudança do uso da terra, que inclui o desmatamento para a expansão agrícola ou urbana, superando as capacidades de remoção de carbono por meio da manutenção e recuperação da vegetação.

As emissões de rebanhos representam a segunda maior categoria de contribuição, somando 3.146.993 tCO₂e no total e crescendo 15,47% no período. Este aumento está diretamente relacionado à fermentação entérica (digestão de ruminantes) e ao manejo de dejetos animais.

Por sua vez, o subsetor de Emissões agregadas e outras de não-CO₂ apresentou uma leve redução de 3,74% no período, totalizando 772.812 tCO₂e. Este subsetor inclui emissões de diversas fontes como o manejo de solos e a queima de resíduos agrícolas.

4.3.1. Uso da Terra

O subsetor de Uso da Terra é um dos principais determinantes do perfil de emissões líquidas do Ceará. Ela engloba tanto as emissões provenientes de atividades que liberam carbono (como o desmatamento) quanto às remoções de carbono por meio de sumidouros (como a manutenção e recuperação da vegetação). A Tabela 5 apresenta o detalhamento das emissões e remoções do subsetor.

Tabela 5. Emissões e remoções do subsetor uso da terra

Componente	2018 (tCO ₂ e)	2019 (tCO ₂ e)	2020 (tCO ₂ e)	2021 (tCO ₂ e)	2022 (tCO ₂ e)	2023 (tCO ₂ e)
Mudança do uso da terra	9.304.777	9.722.677	10.058.875	11.333.220	13.003.541	15.997.515
Manutenção vegetação primária	-40.186	-40.186	-40.186	-40.186	-40.186	-40.186
Recuperação vegetação secundária	-293.451	-339.090	-412.330	-444.723	-475.684	-469.483

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

A Mudança do uso da terra é o componente mais impactante, representando uma fonte significativa de emissões que cresceu de 9.304.777 tCO₂e em 2018 para 15.997.515 tCO₂e em 2023, um aumento de aproximadamente 72%. Esse incremento está associado à conversão de áreas naturais para outros usos, como a agropecuária e a urbanização.

Em contrapartida, a manutenção da vegetação primária e a recuperação da vegetação secundária atuam como importantes sumidouros de carbono, removendo GEE da atmosfera. A recuperação da vegetação secundária demonstrou uma capacidade crescente de remoção ao longo do período, passando de -293.451 tCO₂e em 2018 para -469.483 tCO₂e em 2023, o que é um indicador positivo dos esforços de regeneração e conservação.

4.3.2. Rebanhos

As emissões provenientes do subsetor Rebanhos são predominantemente geradas pela fermentação entérica (digestão de animais ruminantes) e pelo manejo de dejetos animais. A Tabela 6 apresenta o detalhamento das emissões por tipo de rebanho.

Tabela 6. Emissões por tipo de rebanho

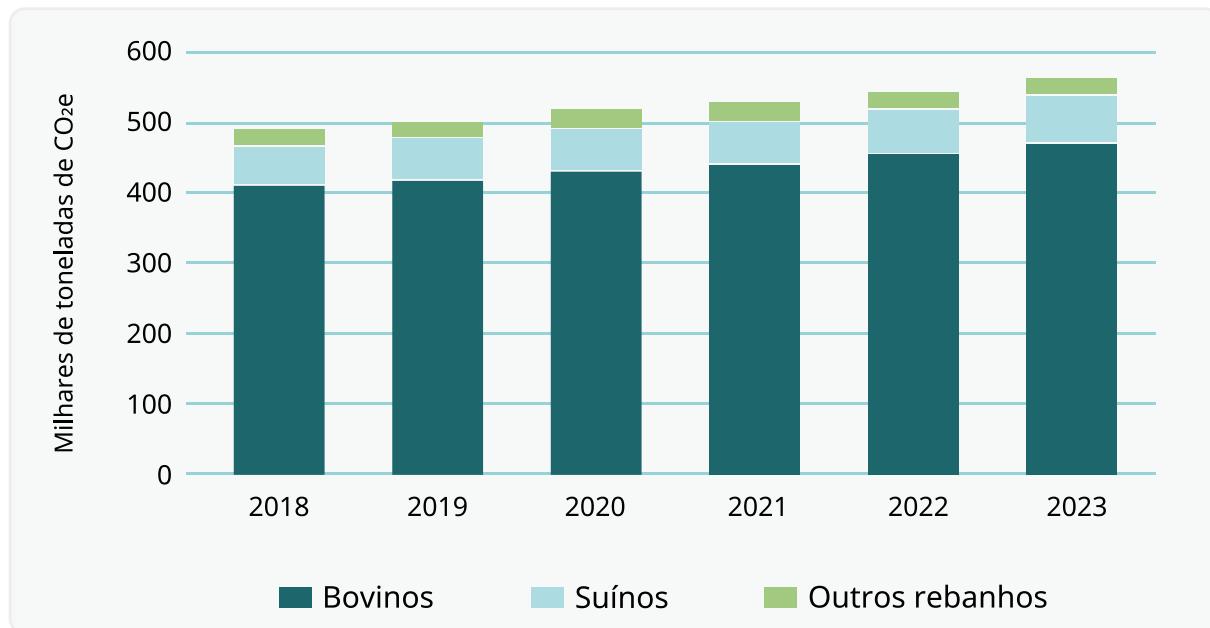
Rebanho	2018 (tCO ₂ e)	2019 (tCO ₂ e)	2020 (tCO ₂ e)	2021 (tCO ₂ e)	2022 (tCO ₂ e)	2023 (tCO ₂ e)
Bovinos	404.732	418.566	431.759	441.746	455.489	471.474
Suínos	60.850	61.297	62.815	63.157	64.247	66.437
Outros	22.372	22.934	23.976	24.448	25.159	25.535

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Os Bovinos são os maiores contribuintes para as emissões do subsetor de Rebanhos, com um total acumulado de 2.623.765 tCO₂e no período. Suas emissões mantiveram uma trajetória ascendente, refletindo a importância da pecuária bovina no estado.

Os Suínos também apresentam uma contribuição notável, com emissões crescentes que acompanham o desenvolvimento dessa atividade pecuária no Ceará. A categoria “Outros” engloba as emissões de Aves, Caprinos, Equinos, Búfalos e Ovinos. Embora esses rebanhos contribuam com volumes menores individualmente, sua unificação mostra um crescimento de 18,47% no período, o que indica uma expansão geral das atividades pecuárias no estado.

A Figura 18 ilustra a evolução das emissões por tipo de rebanho no setor AFOLU.

Figura 18. Emissões por tipo de rebanho

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

4.3.3. Emissões agregadas e outras de não-CO₂

Este subsetor abrange diversas fontes de emissão menores no setor AFOLU, mas que, em conjunto, contribuem para o panorama geral. A Tabela 7 detalha as emissões por tipo de atividade.

Tabela 7. Emissões por tipo de atividade

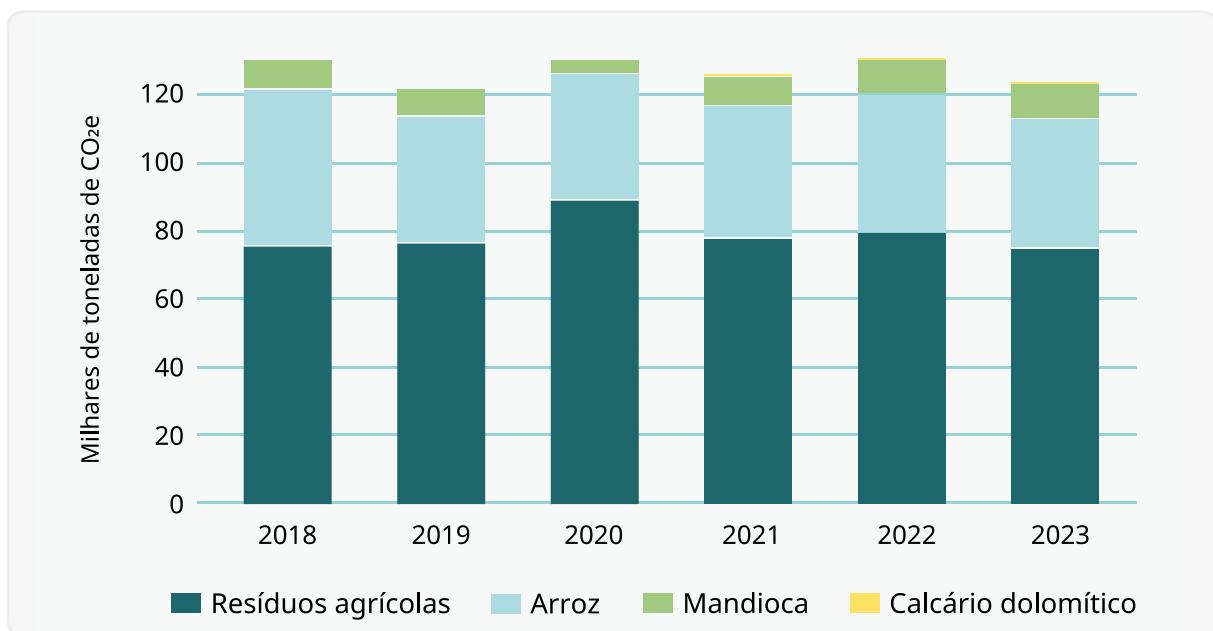
Rebanho	2018 (tCO ₂ e)	2019 (tCO ₂ e)	2020 (tCO ₂ e)	2021 (tCO ₂ e)	2022 (tCO ₂ e)	2023 (tCO ₂ e)
Resíduos agrícolas	75.958	76.522	89.208	77.632	80.150	74.375
Arroz	46.111	37.044	37.178	39.747	39.379	38.610
Mandioca	8.538	8.812	8.797	7.687	10.428	9.987
Calcário dolomítico	0	0	143	191	542	429

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Os Resíduos agrícolas e o cultivo de Arroz continuam sendo os maiores contribuintes individuais do subsetor, embora as emissões de arroz tenham apresentado uma redução no período analisado, enquanto os resíduos agrícolas mostraram uma leve queda. A Mandioca registrou um crescimento, indicando a importância dessa cultura. O Calcário dolomítico, embora com volumes de emissão variáveis e partindo de zero em 2018 e 2019, reflete práticas agrícolas que geram emissões.

A Figura 19 ilustra as emissões por tipo de atividade.

Figura 19. Emissões por tipo de atividade



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

4.4. SETOR DE RESÍDUOS

O setor de Resíduos, que abrange as emissões geradas pelo tratamento de resíduos sólidos e efluentes líquidos, inclui atividades como a disposição final de resíduos em aterros sanitários, aterros controlados e lixões, a incineração de resíduos de serviços de saúde (RSS) ou queima a céu aberto, além do tratamento de efluentes líquidos domésticos e industriais. A análise deste setor é crucial para identificar oportunidades de mitigação, especialmente considerando o potencial de geração de metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) a partir da decomposição de matéria orgânica.

Com base nos dados coletados, as emissões totais do setor de Resíduos no Ceará, no período de 2018 a 2023, acumularam 22.282.092 milhões de toneladas de CO_2 equivalente (tCO_2e). A trajetória desse setor revelou um aumento de 18,44% nas emissões, passando de 3.069.735 tCO_2e em 2018 para 3.635.736 tCO_2e em 2023.

A Figura 20 apresenta e ilustra a contribuição anual de cada subsetor dentro do setor de Resíduos, detalhando suas respectivas evoluções.

Figura 20. Emissões por subsetor de resíduos

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

O subsetor de disposição final dos resíduos sólidos é a principal fonte de emissões no setor, responsável por 18.673.363 tCO₂e no período e apresentando uma dinâmica de crescimento. O tratamento de efluentes líquidos domésticos e industriais contribuiu com 2.263.311 tCO₂e, mostrando uma redução de 24% no período. Essa variação pode ser reflexo de melhorias nos processos de tratamento ou alterações nos volumes e características dos efluentes. A incineração ou queima a céu aberto representa uma parcela menor das emissões totais 1.345.417 tCO₂e. Apresentando uma redução de 13% no período.

4.4.1. Disposição final de resíduos sólidos

A Disposição Final de Resíduos Sólidos é a categoria mais impactante no setor de Resíduos, representando a maior parte das emissões. Estas emissões são geradas principalmente pela decomposição anaeróbica da matéria orgânica em aterros sanitários e lixões, que libera metano (CH₄).

No período analisado (2018-2023), as emissões deste subsetor acumularam 19.996.940 tCO₂e. A Tabela 8 detalha a evolução anual das emissões da disposição final:

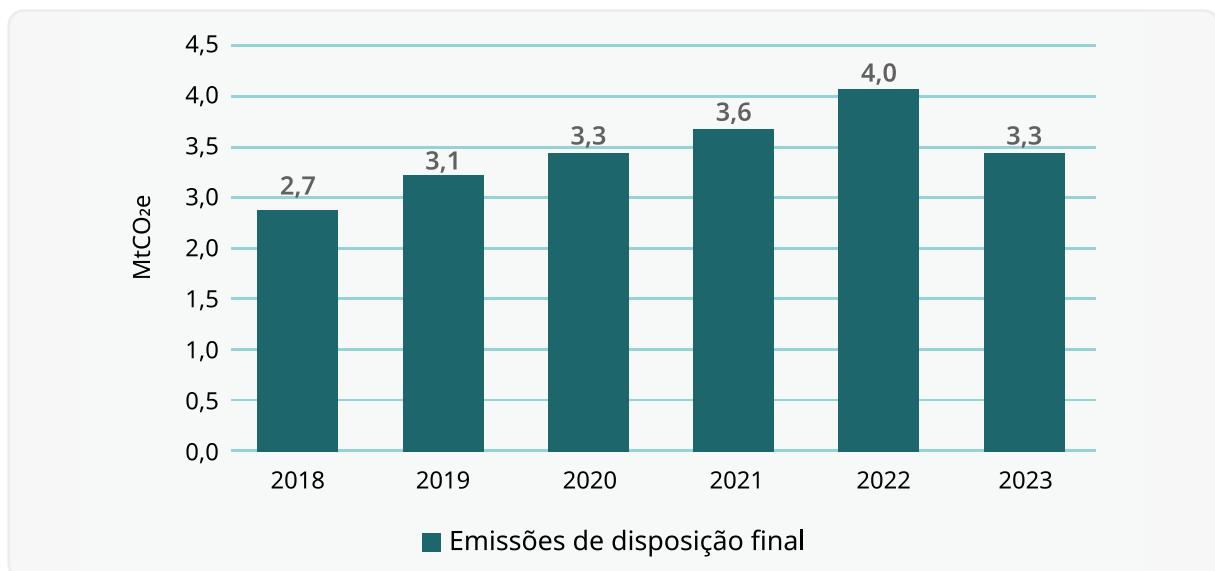
Tabela 8. Evolução anual das emissões da disposição final

Ano	Emissões Líquidas (tCO ₂ e)
2018	2.684.960
2019	3.085.741
2020	3.321.366
2021	3.561.616
2022	3.998.036
2023	3.345.223

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

As emissões da disposição final apresentaram um aumento de 24,59% entre 2018 e 2023. Houve um crescimento constante até 2022, atingindo o pico de 3.998.036 tCO₂e, seguido por uma leve redução em 2023. Esse padrão reflete o volume de resíduos gerados e as práticas de manejo predominantes no estado, com a persistência de lixões e aterros inadequados que favorecem a liberação de metano. Conforme ilustrado na Figura 21.

Figura 21. Evolução anual das emissões da disposição final



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

4.4.2. Tratamento de efluentes líquidos domésticos e industriais

No que diz respeito aos efluentes líquidos, as emissões estão fortemente associadas ao tipo de tratamento empregado nas Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs), bem como à proporção da população atendida pela rede de coleta e à parcela da população ainda não coberta pelo serviço.

No período de 2018 a 2023, este subsetor acumulou 2.263.311 tCO₂e em emissões. A Tabela 9 detalha a evolução anual das emissões do tratamento de efluentes.

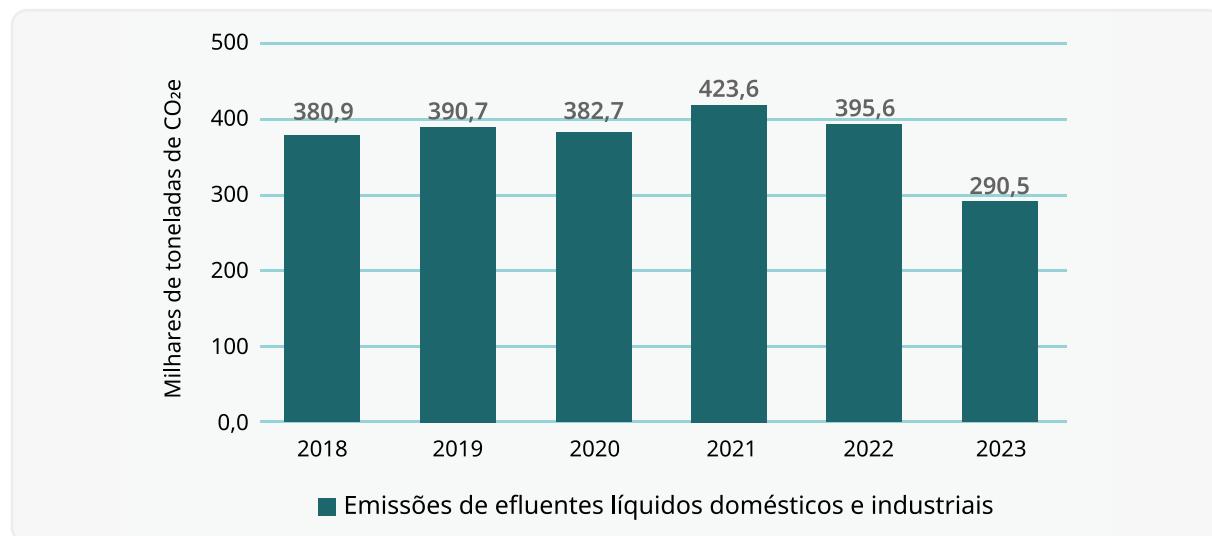
Tabela 9. Evolução anual das emissões do tratamento de efluentes líquidos

Ano	Emissões Líquidas (tCO ₂ e)
2018	380.878
2019	389.989
2020	382.713
2021	423.605
2022	395.612
2023	290.514

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

As emissões do tratamento de efluentes líquidos apresentaram uma redução de 23,73% entre 2018 e 2023. Após um período de relativa estabilidade e um pico em 2021, houve uma queda considerável em 2023, como ilustrado na Figura 22. Essa tendência pode indicar melhorias nos sistemas de tratamento, como a ampliação da cobertura de tratamento adequado ou a implementação de tecnologias que reduzam a liberação de GEE.

Figura 22. Evolução da emissão oriunda do tratamento de efluentes líquidos



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

4.4.3. Incineração de RSS ou queima a céu aberto

O subsetor de Incineração ou Queima a Céu Aberto de resíduos contribui com emissões de GEE, embora em volume significativamente menor quando comparada à disposição final. Este subsetor inclui a queima de resíduos de serviços de saúde (RSS) e a queima não controlada de resíduos sólidos urbanos.

No período de 2018 a 2022, esta categoria acumulou 21.840 tCO₂e em emissões. A Tabela 10 detalha a evolução anual das emissões por incineração e queima a céu aberto.

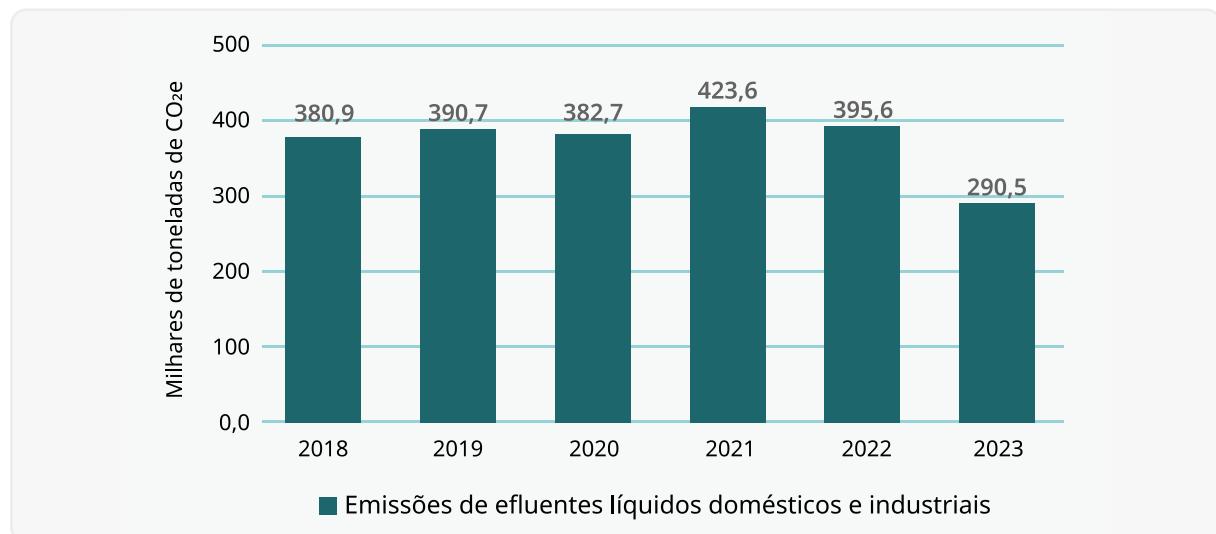
Tabela 10. Evolução anual das emissões da incineração ou queima a céu aberto

Ano	Emissões Líquidas (tCO ₂ e)
2018	3.897
2019	3.320
2020	3.888
2021	4.359
2022	6.376

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

As emissões por incineração e queima a céu aberto apresentaram um aumento de 63,61% entre 2018 e 2022. Houve flutuações, com um pico em 2022, como ilustrado na Figura 23. A queima a céu aberto é uma prática ambientalmente inadequada e que contribui diretamente para a poluição do ar e emissões de GEE.

Figura 23. Evolução da emissão oriunda do incineração ou queima a céu aberto



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

4.5. SETOR IPPU

O setor de Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU) contabiliza as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) provenientes de transformações físico-químicas de materiais em processos industriais e do uso de gases fluorados em produtos. Este setor reflete a pegada de carbono associada à atividade manufatureira e a certas aplicações específicas de produtos.

No período de 2018 a 2023, as emissões acumuladas do setor IPPU no Ceará totalizaram 12.866.395 milhões de toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂e). A análise da trajetória desse setor mostra um aumento significativo de 74,17% nas emissões entre 2018 (1.706.320 tCO₂e) e 2023 (2.971.895 tCO₂e), indicando um crescimento na produção industrial ou na utilização de produtos que geram GEE.

A Tabela 11 detalha as emissões por subsetor dentro do setor IPPU, fornecendo uma visão mais granular das fontes de emissão:

Tabela 11. Emissões por tipo de atividade

Subsetor	2018 (tCO ₂ e)	2019 (tCO ₂ e)	2020 (tCO ₂ e)	2021 (tCO ₂ e)	2022 (tCO ₂ e)	2023 (tCO ₂ e)
Produção de Cimento	1.706.320	1.726.340	1.914.990	2.280.740	2.266.110	2.644.353
Produção de Aço	Dado não disponível	327.542				

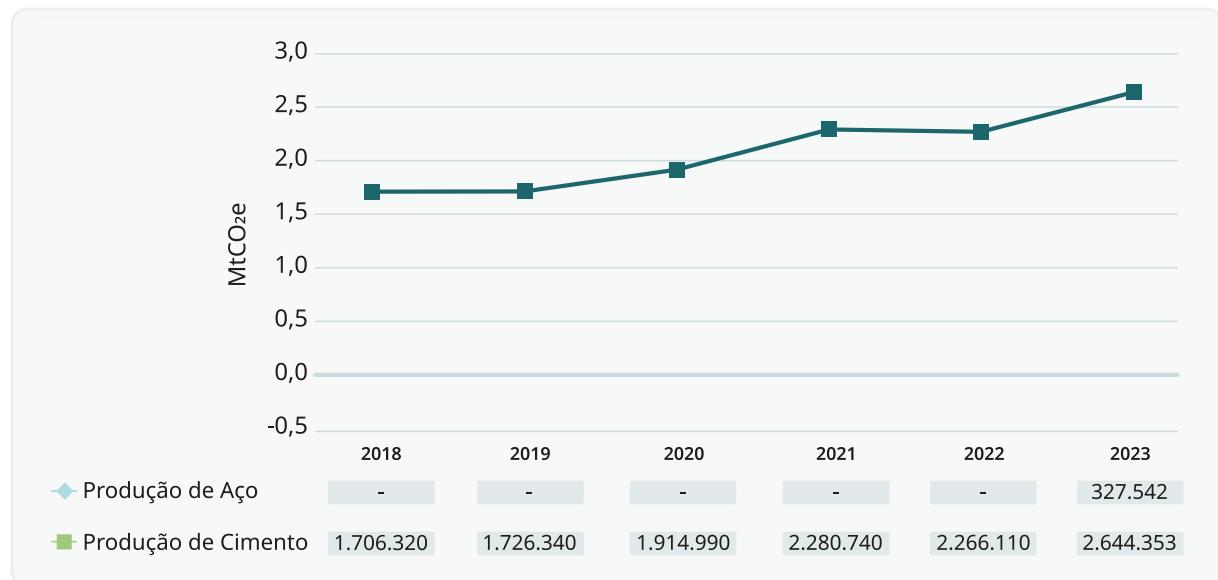
Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

A Produção de Cimento é a principal contribuinte para as emissões do setor IPPU, representando uma parcela substancial das emissões ao longo de todo o período analisado. Suas emissões demonstraram um crescimento notável de 54,39% entre 2018 e 2023, refletindo a intensa atividade na indústria de construção e infraestrutura no estado.

A Produção de Aço é outra categoria relevante, embora dados detalhados só tenham sido disponibilizados para o ano de 2023, contribuindo com 327.542 tCO₂e. A ausência de dados para os anos anteriores impede uma análise completa de sua evolução no período, mas sua contribuição em 2023 é significativa. A soma das emissões da Produção de Cimento e da Produção de Aço em 2023 corresponde exatamente ao total do setor IPPU para aquele ano.

A Figura 24 ilustra a evolução das emissões de GEE por subsetor em IPPU.

Figura 24. Evolução da emissão por subsetor de IPPU



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

5. CARBONO BIOGÊNICO

O carbono biogênico refere-se às emissões e remoções de dióxido de carbono (CO₂) que ocorrem naturalmente como parte do ciclo do carbono de vida curta, envolvendo a biomassa (plantas, animais e seus derivados). Diferentemente das emissões de CO₂ de combustíveis fósseis (que liberam carbono armazenado por milhões de anos), as emissões biogênicas são consideradas neutras em carbono a longo prazo, desde que a biomassa seja regenerada. Isso significa que o CO₂ liberado é reabsorvido pela vegetação à medida que ela cresce, completando o ciclo (YOUNIS & DODOO, 2022).

A contabilização do carbono biogênico é essencial para fornecer uma imagem completa do balanço de carbono e para distinguir entre emissões que contribuem para o aumento líquido de GEE na atmosfera e aquelas que fazem parte de um ciclo natural e sustentável. Este capítulo apresenta uma análise das emissões de CO₂ biogênico do Ceará, categorizadas por suas fontes principais. A Tabela 12 detalha as emissões de CO₂ biogênico por categorias principais no período de 2018 a 2023. Os valores são expressos em toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂e). É importante destacar que os dados disponíveis para o setor são secundários. Além disso, considerando que o ano de 2023 marca a transição entre as plataformas SNIS e SINISA, não foram identificados registros disponíveis para o referido ano.

Tabela 12. Emissões por tipo de atividade

Subsetor	2018 (tCO ₂ e)	2019 (tCO ₂ e)	2020 (tCO ₂ e)	2021 (tCO ₂ e)	2022 (tCO ₂ e)	2023 (tCO ₂ e)
Combustão estacionária	28.304	69.314	91.974	71.621	68.520	112.101
Combustão móvel	1.009.192	1.043.765	975.535	1.007.426	1.001.467	1.132.740
Resíduos sólidos e efluentes líquidos	5.586	4.758	5.572	6.247	9.139	*
Total	1.043.081	1.117.836	1.073.081	1.085.294	1.079.125	1.244.841

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

O total acumulado de emissões de CO₂ biogênico no Ceará entre 2018 e 2023 foi de aproximadamente 6,64 milhões de toneladas (tCO₂e).

O subsetor de Combustão móvel é a principal fonte de emissões de CO₂ biogênico, respondendo por cerca de 6,17 milhões de tCO₂e no período. Isso se deve principalmente ao uso de biocombustíveis (como etanol e biodiesel) nos transportes. As emissões desse

subsetor apresentaram flutuações, mas uma tendência de crescimento, atingindo o maior valor em 2023.

As emissões de Combustão estacionária totalizaram 441,8 mil tCO₂e. Houve um aumento notável em 2019 e 2020, seguido de uma queda em 2021 e 2022, e um novo aumento significativo em 2023. Isso pode estar relacionado ao uso de biomassa para geração de energia em indústrias ou residências. Já o subsetor de Resíduos sólidos e efluentes líquidos é o menor contribuinte, com 31,3 mil tCO₂e.

Em termos de evolução anual, as emissões totais de CO₂ biogênico apresentaram um crescimento de 19,34% entre 2018 (1,04 milhão de tCO₂e) e 2023 (1,24 milhão de tCO₂e), com variações ao longo dos anos, refletindo o dinamismo do consumo de biomassa e biocombustíveis no estado.

6. COMPARAÇÃO DO INVENTÁRIO DO CEARÁ COM O SEEG

A comparação dos dados do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Ceará com as estimativas do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) é fundamental para contextualizar os resultados, validar a metodologia e identificar possíveis variações entre diferentes fontes de dados. Ambas as plataformas fornecem informações cruciais sobre as emissões de GEE, sendo que o SEEG utiliza uma abordagem nacional e o Inventário do Ceará foca na realidade local, com dados mais detalhados e específicos do estado.

Esta seção apresenta uma análise comparativa das emissões líquidas de GEE, desagregadas por setor, entre os dados do SEEG e os do Inventário do Ceará para o período de 2018 a 2023.

As Tabela 13 e 14 detalham a evolução das emissões líquidas (em milhões de toneladas de CO₂ equivalente - MtCO₂e) por setor, conforme analisado pelo SEEG e pelo Inventário do Ceará, respectivamente.

Tabela 13. Evolução das emissões líquidas por setor - SEEG

Setor	2018 (tCO ₂ e)	2019 (tCO ₂ e)	2020 (tCO ₂ e)	2021 (tCO ₂ e)	2022 (tCO ₂ e)	2023 (tCO ₂ e)
MUT+ Agropecuária	6.580.797	9.540.344	9.033.827	11.542.227	12.450.553	15.919.855
Energia	6.385.848	6.630.070	3.685.277	6.846.390	2.110.239	2.283.429
IPPU	1.014.808	983.787	1.032.882	1.210.986	1.091.654	1.119.461
Resíduos	3.905.384	4.029.591	4.159.050	4.311.375	4.299.781	4.391.684
Transporte	4.957.286	5.092.046	4.517.160	4.820.992	5.142.279	5.291.235
Total	22.844.123	26.275.837	22.428.197	28.731.970	25.094.505	29.005.664

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Tabela 14. Evolução das emissões líquidas por setor - Inventário do Ceará

Setor	2018 (tCO ₂ e)	2019 (tCO ₂ e)	2020 (tCO ₂ e)	2021 (tCO ₂ e)	2022 (tCO ₂ e)	2023 (tCO ₂ e)
AFOLU	9.589.751	9.968.727	10.260.681	11.504.127	13.164.180	16.177.069
Energia Estacionária	5.520.759	5.653.655	3.262.312	5.598.101	1.171.165	1.264.093
IPPU	1.706.320	1.726.340	1.914.990	2.280.740	2.266.110	2.971.895
Resíduos	3.069.735	3.479.050	3.707.967	3.989.581	4.400.024	3.635.736
Transporte	5.260.287	5.487.044	4.752.568	5.144.805	5.573.066	5.693.026
Total	25.146.852	26.314.815	23.898.518	28.517.354	26.574.544	29.741.820

Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

ANÁLISE GERAL DA COMPARAÇÃO

- Valores Totais:** O Inventário do Ceará geralmente apresenta valores totais de emissões líquidas ligeiramente superiores aos do SEEG em alguns anos, como em 2018 (25,15 MtCO₂e no Ceará vs. 22,84 MtCO₂e no SEEG) e 2023 (29,74 MtCO₂e no Ceará vs. 29,01 MtCO₂e no SEEG). No entanto, em 2019 e 2021, os valores são muito próximos ou o SEEG mostra um total ligeiramente maior, o que indica uma forte correlação e consistência geral entre as duas fontes.
- Tendências Anuais:** Ambas as fontes mostram tendências anuais semelhantes. Por exemplo, ambas registram uma queda nas emissões em 2020 (provavelmente relacionada aos impactos da pandemia de COVID-19) seguida por uma recuperação e crescimento nos anos posteriores.

64

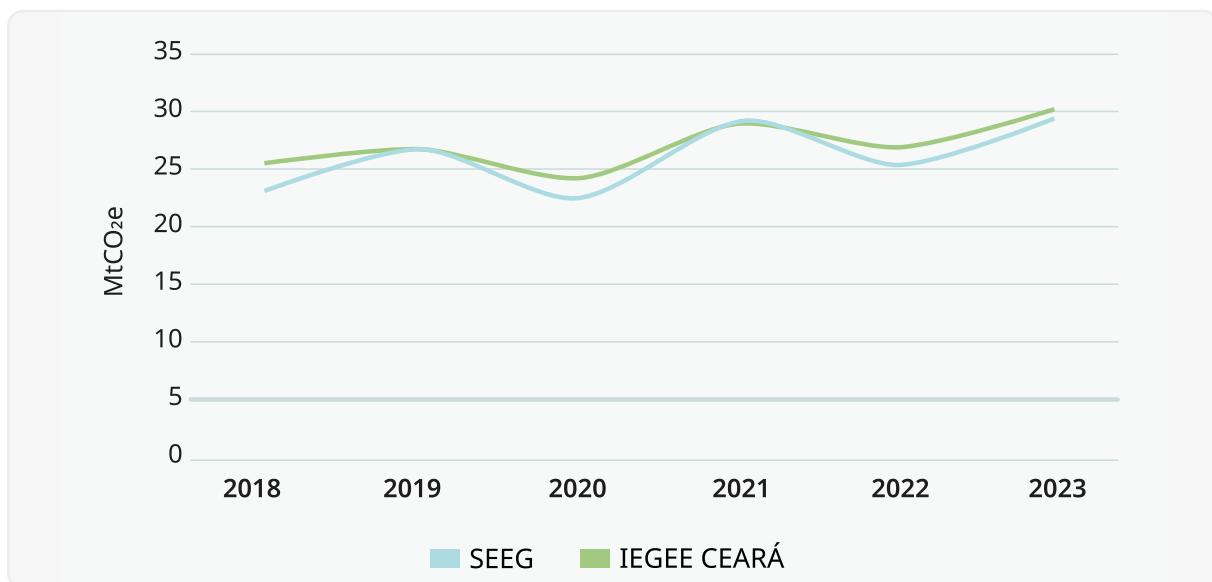
CONSISTÊNCIA POR SETOR

- AFOLU (MUT + Agropecuária):** O Inventário do Ceará consistentemente reporta emissões mais altas para este setor em comparação com o SEEG. Em 2023, o Inventário do Ceará aponta 16,18 MtCO₂e, enquanto o SEEG indica 15,92 MtCO₂e. Essa diferença pode ser atribuída à granularidade dos dados de uso da terra e atividades agropecuárias utilizadas em cada inventário.
- Energia:** Ambos os inventários mostram variações consideráveis, com picos e vales em anos semelhantes.
- IPPU:** O Inventário do Ceará registra emissões substancialmente maiores para o setor IPPU em todos os anos analisados em comparação com o SEEG. Em 2023, a diferença é de 2,97 MtCO₂e no Inventário do Ceará contra 1,12 MtCO₂e no SEEG. Isso sugere que o Inventário do Ceará pode estar capturando mais atividades de processos industriais e uso de produtos.

- **Resíduos:** As emissões do setor de Resíduos são relativamente próximas entre as duas fontes, com o Inventário do Ceará mostrando valores um pouco mais baixos em 2018 e 2023, e um pouco mais altos em 2022.
- **Transporte:** O setor de Transporte apresenta valores muito consistentes entre as duas fontes, indicando um bom alinhamento na sua quantificação.

A Figura 25 ilustra a comparação das emissões líquidas entre o SEEG e o Inventário do Ceará.

Figura 25. Comparação das emissões líquidas entre o SEEG e o Inventário do Ceará



Fonte: ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, 2025.

Em resumo, a comparação demonstra uma boa consistência geral entre o Inventário do Ceará e o SEEG, validando as tendências e a magnitude das emissões líquidas no estado. As diferenças pontuais em alguns setores podem ser atribuídas a especificidades metodológicas ou à maior granularidade dos dados locais utilizados no Inventário do Ceará, o que reforça a importância de se ter um inventário estadual para embasar políticas públicas mais assertivas e adaptadas à realidade local.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este Relatório do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) do Ceará representa um diagnóstico fundamental para a compreensão do panorama climático do estado. Mais do que um compilado de dados, este documento serve como uma ferramenta estratégica para informar e balizar a formulação de políticas públicas e a implementação de ações concretas na jornada do Ceará rumo a um futuro mais resiliente, equitativo e de carbono zero.

A análise detalhada dos setores emissores permite identificar os principais desafios e as oportunidades mais promissoras para a mitigação das emissões de GEE, alinhando-as aos compromissos nacionais e internacionais e, em especial, aos cinco caminhos do ICLEI.

As emissões associadas aos Escopos 2 e 3 não foram analisadas devido a diversas limitações. Em relação ao consumo de energia elétrica proveniente de residências, indústrias, comércios, prédios públicos e perdas na transmissão e distribuição (Escopo 2), a empresa local de energia não forneceu os dados de forma desagregada, inviabilizando a análise. Da mesma forma, as emissões oriundas de viagens interestaduais e internacionais partindo do Ceará (Escopo 3) não puderam ser avaliadas por falta de acesso aos dados necessários. Além disso, os resíduos depositados em aterros localizados fora do território estadual também não foram considerados, dado que, embora esse cenário seja frequente para municípios, é pouco aplicável no caso de estados.

Diante disso, ressalta-se a importância de obter dados mais detalhados e desagregados sobre o consumo e as emissões de energia elétrica, bem como de viagens interestaduais e internacionais, para possibilitar uma análise mais abrangente dos Escopos 2 e 3 na próxima edição do inventário.

7.1. PANORAMA GERAL DAS EMISSÕES

As emissões líquidas totais do Ceará, considerando os setores inventariados, apresentaram um crescimento de 18,27% entre 2018 e 2023. Partindo de 25.146.852 tCO₂e em 2018, as emissões líquidas atingiram 29.741.820 tCO₂e em 2023. Observou-se uma leve retração em 2020, possivelmente associada aos impactos da pandemia de COVID-19 na atividade econômica, seguida por uma retomada no crescimento.

Os setores que mais contribuíram para o perfil de emissões do estado foram:

- **AFOLU (Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra):** Este setor destacou-se como o maior contribuinte, representando, em 2023, 16.177.069 tCO₂e. A maior parte dessas emissões está associada às mudanças de uso da terra, refletindo

a conversão de áreas naturais para outros fins, como a expansão agropecuária, e também às emissões da pecuária. O crescimento de 68,69% neste setor no período analisado aponta para a necessidade urgente de políticas de uso e ocupação do solo e práticas agrícolas mais sustentáveis.

- **Transportes:** Figura como o segundo principal vetor de emissões, totalizando 5.693.026 tCO₂e em 2023. A predominância do modal rodoviário e o uso intensivo de combustíveis fósseis são os principais responsáveis, apesar de um pequeno aumento de 8,23% nas emissões do setor no período.
- **IPPU (Processos Industriais e Uso de Produtos):** As emissões deste setor alcançaram 2.971.895 tCO₂e em 2023, com um expressivo crescimento de 74,17% desde 2018. A produção de cimento emerge como a principal fonte de emissões, evidenciando a atividade robusta na construção civil do estado. É importante notar que dados para outras indústrias e para a produção de aço para anos anteriores ainda são lacunares, o que pode subestimar a contribuição total do setor.
- **Resíduos:** As emissões do setor totalizaram 3.635.736 tCO₂e em 2023, com um aumento de 18,44% no período. A disposição final de resíduos sólidos em aterros e lixões é a principal fonte de emissões, liberando metano da decomposição orgânica. O tratamento de efluentes líquidos também contribui significativamente, embora a análise de incineração e queima a céu aberto seja limitada por dados incompletos para o último ano.
- **Energia Estacionária:** Contribuiu com 1.264.093 tCO₂e em 2023. Apesar de uma redução de 77,10% em suas emissões totais no período, este setor é relevante e sensível a variações na matriz energética e no consumo, com combustíveis fósseis ainda desempenhando um papel.

O Inventário do Ceará também revelou a quantificação das emissões de Carbono Biogênico, totalizando 1.244.841 tCO₂e em 2023. Embora consideradas neutras no ciclo de carbono de curto prazo, a sua monitorização é vital para uma gestão completa da pegada de carbono do estado.

7.2. RECOMENDAÇÕES E OPORTUNIDADES DE MITIGAÇÃO

As seguintes recomendações e oportunidades de melhoria são propostas para cada setor, alinhadas aos Cinco Caminhos do ICLEI para o desenvolvimento urbano sustentável: Zero Carbono, Baseado na Natureza, Resiliente, Equitativo e Circular.

SETOR AFOLU (AGRICULTURA, FLORESTA E OUTROS USOS DA TERRA)

- **Zero Carbono e Baseado na Natureza:**
 - Fortalecer a fiscalização e o combate ao desmatamento: Implementar sistemas robustos de monitoramento georreferenciado e fiscalização para

reduzir a conversão ilegal de áreas naturais, especialmente para a expansão agropecuária.

- Incentivar o reflorestamento e a recuperação de áreas degradadas: Promover programas de restauração ecológica, incluindo plantio de espécies nativas e fomento à regeneração natural. Isso pode aumentar o sequestro de carbono e contribuir para a manutenção da biodiversidade.
- Adotar práticas agrícolas de baixo carbono: Incentivar a implementação de sistemas como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), o manejo integrado de pragas, o uso eficiente de fertilizantes e a gestão adequada de resíduos agrícolas.
- Reduzir emissões da pecuária: Promover o melhoramento genético, o manejo nutricional e a captura de metano de dejetos animais para mitigar as emissões da fermentação entérica e do manejo de resíduos.
- Equitativo e Resiliente:
 - Apoiar a agricultura familiar sustentável: Oferecer assistência técnica e acesso a recursos para que pequenos produtores adotem práticas de baixo carbono e se adaptem às mudanças climáticas, aumentando sua resiliência.
 - Regularização fundiária: Fortalecer a regularização fundiária para promover a segurança jurídica e ambiental, incentivando a conservação e o uso sustentável do solo.

SETOR DE ENERGIA ESTACIONÁRIA

- **Zero Carbono e Equitativo:**

- Ampliar a geração de energia renovável descentralizada: Incentivar a instalação de painéis solares e outras fontes renováveis em edificações residenciais, comerciais e industriais, com foco na geração distribuída e no acesso a energias limpas.
- Promover a eficiência energética em edificações: Implementar programas de incentivo à modernização de sistemas de iluminação, climatização e equipamentos em edifícios públicos e privados, reduzindo a demanda por energia.
- Reduzir a dependência de combustíveis fósseis: Fomentar a substituição de fontes como GLP e diesel em aplicações estacionárias por alternativas mais limpas, como gás natural renovável ou eletrificação.

- **Circular e Resiliente:**

- Aproveitamento de biomassa e resíduos para energia: Explorar o potencial de geração de energia a partir de biomassa residual e resíduos orgânicos, dentro de um modelo de economia circular.

SETOR DE TRANSPORTES

- **Zero Carbono e Circular:**

- Transição para modais de transporte mais eficientes e limpos: Investir em infraestrutura para transporte público de massa (como VLTs, BRTs) e incentivar o uso de veículos elétricos e híbridos, tanto para frotas públicas quanto privadas.
- Incentivar o uso de biocombustíveis: Promover políticas para aumentar a participação de etanol e biodiesel na matriz de combustíveis dos transportes.
- Eficiência logística: Implementar soluções de logística urbana e de carga que otimizem rotas, reduzam viagens vazias e promovam o transporte intermodal para diminuir o consumo de combustível.

- **Equitativo e Resiliente:**

- Acessibilidade e mobilidade sustentável: Garantir que as soluções de transporte limpo sejam acessíveis a todas as camadas da população, melhorando a qualidade do ar e a saúde pública, e reduzindo a vulnerabilidade a choques nos preços dos combustíveis fósseis.

SETOR IPPU (PROCESSOS INDUSTRIAIS E USO DE PRODUTOS)

- **Zero Carbono e Circular:**

- Fomentar a eficiência energética industrial: Implementar programas de auditoria energética e oferecer incentivos para a modernização de equipamentos e processos industriais, reduzindo o consumo de energia e as emissões associadas.
- Incentivar a substituição de insumos e processos: Promover a pesquisa e desenvolvimento de materiais de baixo carbono (ex: cimento de baixo carbono) e a adoção de tecnologias mais limpas na indústria.

- **Equitativo e Centrado nas Pessoas:**

- Apoio à inovação: Criar um ambiente favorável à inovação e à atração de investimentos em indústrias sustentáveis, gerando empregos verdes e fortalecendo a economia local.

SETOR DE RESÍDUOS

- **Circular e Zero Carbono:**

- Ampliar a coleta seletiva e a reciclagem: Investir em infraestrutura e programas de conscientização para aumentar significativamente os índices de coleta seletiva e reciclagem, desviando materiais dos aterros.
- Implementar a compostagem e biodigestão: Promover o tratamento de resíduos orgânicos através da compostagem e da biodigestão, transformando-os em fertilizantes e biogás (com potencial de aproveitamento energético), reduzindo as emissões de metano.

- Aproveitamento energético de biogás em aterros: Onde houver aterros sanitários, priorizar a captação e aproveitamento energético do biogás gerado, evitando sua liberação direta na atmosfera.

- **Equitativo e Resiliente:**

- Universalização do saneamento: Investir na ampliação e melhoria da infraestrutura de coleta e tratamento de esgoto, garantindo o acesso a serviços adequados para toda a população e reduzindo as emissões de metano de efluentes não tratados.
- Erradicação de lixões: Continuar os esforços para eliminar lixões e aterros inadequados, substituindo-os por sistemas ambientalmente controlados.
- Engajamento da comunidade: Envolver a população e os catadores de materiais recicláveis nas soluções de gestão de resíduos, garantindo inclusão social e econômica.

7.3. PRÓXIMOS PASSOS E CAMINHO À FRENTE

A conclusão deste Inventário é um marco, mas é também o ponto de partida para as próximas etapas da conformidade climática do Ceará. Para avançar de forma eficaz, é fundamental:

- **Subsidiar Políticas Públicas Climáticas:** O inventário será uma ferramenta essencial para embasar a formulação e o aprimoramento de políticas públicas estaduais voltadas à mitigação das emissões, à transição para um desenvolvimento de carbono zero e ao aumento da resiliência do território.
- **Construção da Conformidade Climática Estadual:** A elaboração do inventário é o primeiro passo na jornada do Ceará rumo à conformidade climática. A partir dos dados e insights gerados, os próximos passos para o estado incluem a construção da Análise de Risco e Vulnerabilidade Climática e o desenvolvimento do Plano Estadual de Ação Climática, que definirão as estratégias de adaptação e mitigação de longo, médio e curto prazo.
- **Definição e Monitoramento de Metas:** Servirá como base para o estabelecimento de metas realistas de redução das emissões e para o monitoramento do progresso do estado em relação aos seus compromissos climáticos, alinhados às Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) do Brasil.
- **Reporte e Transparência:** Promover a divulgação dos resultados do inventário de forma acessível e transparente para a sociedade civil, setor privado e academia, fomentando o engajamento de todos os atores na implementação de ações climáticas eficazes. Isso incluirá, de forma estratégica, o reporte à plataforma CDP-ICLEI Track, garantindo a visibilidade e o reconhecimento internacional dos esforços e progressos climáticos do Ceará.
- **Fortalecimento Institucional e Capacitação:** O processo contínuo de elaboração do inventário fortalecerá a capacidade técnica das equipes estaduais e aprimorará os fluxos de coleta de dados, consolidando o Ceará como referência na gestão de informações climáticas.

Ao adotar uma abordagem integrada e ambiciosa, o Ceará pode não apenas cumprir seus compromissos climáticos, mas também transformar os desafios em oportunidades para um desenvolvimento econômico e social mais verde, justo e próspero. A transição para uma economia de carbono zero não é apenas uma necessidade ambiental, mas um vetor de inovação, competitividade e melhoria da qualidade de vida para todos os cearenses.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

C35. *Global Climate Highlights 2024*. Reading: ECMWF, 2024. Disponível em: <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024>

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Perfil da Indústria – Ceará**. Brasília, 2022. Disponível em: <https://perfildaindustria.portaldaindustria.com.br/estado/ce#this>

COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Projeto de reflorestamento da caatinga vai beneficiar reservas hídricas da RMF**. Fortaleza, 2025 Disponível em: <https://www.ceara.gov.br/2025/01/10/projeto-de-reflorestamento-da-caatinga-vai-beneficiar-reservas-hidricas-da-rmf/>

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

DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO DO CEARÁ (DETRAN-CE). **Frota por tipo – até setembro/2023**. Fortaleza: Diretoria de Desenvolvimento Institucional e Planejamento; Núcleo de Desenvolvimento Institucional e Estatística, 2023. Disponível em: https://www.detran.ce.gov.br/wp-content/uploads/2023/11/01_Frota_Tipo_SET2023.pdf

DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO DA BAHIA (DETRAN-BA). **Frota por tipo de veículo**. Salvador: DETRAN-BA, 2025. Disponível em: <https://www.detran.ba.gov.br/frotaBi.php>

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2022**. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2024: ano base 2023**. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-723/BEN2024.pdf>.

FUNCENE - FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Levantamento de Solos do Estado do Ceará**. Fortaleza, 2024. Disponível em: <http://www.funceme.br/wp-content/uploads/2024/11/LIVRO-LEVANTAMENTO-DE-SOLOS-FUNCENE.pdf>

IBGE. **Produto Interno Bruto (PIB)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>.

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: IBGE, 2023.

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

IBGE. Cidades e Estados. 2024b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce.html>

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

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

Volume 1 - General Guidance and Reporting

Volume 2 - Energy

Volume 3 - IPPU

Volume 4 - AFOLU

Volume 5 - Waste

IPCC. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – A primer, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*, Eggleston H.S., Miwa K., Srivastava N. and Tanabe K. (eds). Japão, IGES, 2008.

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*. CALVO BUENDIA, E. et. al. (ed.). Switzerland: IPCC, 2019. Disponível em: <https://www.ipcc-nccc.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>

Volume 1 - General Guidance and Reporting

Volume 2 - Energy

Volume 3 - IPPU

Volume 4 - AFOLU

Volume 5 - Waste

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

IPCC. Mudança do Clima 2021 - A Base Científica: Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. 6º Relatório de Avaliação do IPCC – Grupo de Trabalho II. Brasília: MCTI, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/IPCC_mudanca2.pdf

IPCC. *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. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647. 2023.

IPECE - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Evolução da participação dos setores econômicos no PIB do Ceará: 1985-2010**. Fortaleza, 2014. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2014/02/TD_90.pdf

IPECE - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Ceará em Números 2023**. Fortaleza: IPECE, 2023. Disponível em: http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ceara_em_numeros/2023/completa/Ceara_em_Numeros_2023.pdf

IPECE - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Produto Interno Bruto do Ceará – 4º trimestre de 2024**. Fortaleza, 2025. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2025/03/APRESENTACAO_PIB4o_TRIM_2024.pdf

IPECE - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Estudo do Ipece ressalta importância do Ceará na transição energética**. Fortaleza, 2025. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/2025/01/14/estudo-do-ipece-ressalta-importancia-do-ceara-na-transicao-energetica/>

NOAA. *Global Climate Report – Annual 2023*. Washington, D.C.: NOAA National Centers for Environmental Information, 2023. Disponível em: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/2023>

NASCENTES, Clésia Cristina; COSTA, Letícia Malta. **Química Ambiental**. [S.l.]: Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Química – ICEx, Curso de Licenciatura em Química, Educação a Distância, 2011.

MCTI. **Relatórios de Referência Setorial**. Brasília: MCTI, [2021]. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>

MCTI. **Fatores de emissão MDL/SIN**. Brasília, [2025]. Disponível em: www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao

MT - Ministério dos Transportes. **Frota de veículos – 2024**. Secretaria Nacional de Trânsito (Senatran). Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2024>

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/>

PROJETO MAPBIOMAS. **Plataforma MapBiomass – Análise Ambiental da Vegetação: Ceará**. São Paulo: MapBiomass, 2023. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/cobertura>

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): MUT.** Piracicaba: Observatório do Clima, 2023b.

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>

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: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-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: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis>

SINISA - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO BÁSICO. **Módulo de Esgotamento Sanitário 2023: Indicadores de Atendimento.** Brasília, 2025a.

SINISA - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO BÁSICO. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2023: Planilhas de Informações e Indicadores.** Brasília, 2025b.

SEBRAE – Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Data MPE Brasil.** Brasília, 2022a. Disponível em: <https://datampe.sebrae.com.br>

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

UNFCCC. **United Nations Climate Change Annual Report 2022.** Bonn: UNFCCC Secretariat, 2022. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/UNClimateChange_AnnualReport_2022.pdf

WMO. **State of the Global Climate 2023.** Genebra: WMO, 2023. Disponível em: <https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate-2023>

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>

WRI; C40; ICLEI. **Global Protocol for Community-scale GHG Emissions.** São Paulo: 2014. Disponível em: <https://ghgprotocol.org/ghg-protocol-cities>

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

YOUNIS, A. & DODOO, A. *Cross-laminated timber for building construction: A life-cycle-assessment overview*. Journal of Building Engineering, Volume 52, 2022.

ANEXO A. MÉTODO DE CÁLCULO DAS EMISSÕES E REMOÇÕES DE GEE

A.1. ENERGIA ESTACIONÁRIA E TRANSPORTES

A.1.1. Consumo de Combustíveis

O método de estimativa das emissões de GEE oriundas da combustão de diversos tipos de combustíveis toma como base o volume total consumido a cada ano. Os tipos de GEE emitidos na queima de combustíveis fósseis são o CO₂, o CH₄ e o N₂O. O cálculo para essas emissões é realizado a partir da multiplicação dos dados de atividades, como por exemplo, consumo de combustíveis fósseis, pelos seus respectivos fatores de emissão para cada um dos GEE, conforme a equação apresentada a seguir:

$$E_{i,g,y} = C_{i,y} * PCI_{i,y} * FE_{i,g,y} * PAG_g$$

Em que:

i	Índice relacionado ao tipo de combustível;
g	Índice relacionado a um tipo de GEE;
y	Ano de referência do Inventário;
E_{i,g,y}	Emissões ou remoções de GEE <i>g</i> atribuível à fonte ou sumidouro <i>i</i> durante o ano <i>y</i> , em tCO ₂ e;
C_{i,y}	Consumo do combustível <i>i</i> no ano <i>y</i> , na unidade <i>u</i> , sendo <i>u</i> m ³ ou kg;
FE_{i,g,y}	Fator de emissão ou remoção de GEE <i>g</i> atribuível à fonte ou sumidouro <i>i</i> durante o ano <i>y</i> , em t GEE <i>g/u</i> ;
PAG_g	Potencial de aquecimento global de GEE <i>g</i> , em tCO ₂ e/ t GEE <i>g</i> .

Os consumos de gasolina e diesel exigem uma etapa adicional de cálculo considerando que, dependendo do ano analisado, existe uma variação do percentual de etanol anidro e de biodiesel em suas composições. Para o cálculo das emissões oriundas do consumo desses tipos de combustível, foram aplicados os percentuais de biocombustível antes do uso da equação acima.

A.2. RESÍDUOS

A.2.1. Resíduos sólidos destinados a aterros

A fim de calcular as emissões originadas da destinação de resíduos sólidos em aterros, foram reunidas informações sobre as quantidades de resíduos gerados no Estado e enviados para aterros dentro e fora dos seus limites.

Para se estimar as emissões no setor foi utilizado o método Compromisso de Metano, o qual é composto por três etapas. Na primeira é necessário estimar o carbono orgânico degradável presente no resíduo, ou seja, a fração orgânica que passará pelo processo de degradação ao ser depositada no solo. A segunda etapa é definir o potencial de geração de metano daquele determinado resíduo, parâmetro que define a quantidade de metano que deve ser gerada a partir de determinada quantidade de resíduo. Por fim, a terceira etapa consiste em multiplicar o potencial de geração pelo total de resíduos dispostos, bem como retirar as frações que são recuperadas a partir do aproveitamento energético ou queima em flare e da fração que é oxidada no solo. As equações detalhadas podem ser observadas a seguir:

$$E_{CH4,y} = (QR_y * L_{0,y} - R_y) * (1 - OX_y)$$

$$L_{0,y} = MCF_0 * DOC_{média} * DOC_f * F_{CH4} * 16/12$$

$$DOC_{média} = \sum (\%_{i,y} * DOC_i)$$

Em que:

y	Ano de referência do Inventário;
i	Tipo de resíduo;
$E_{CH4,y}$	Emissões CH_4 atribuíveis à decomposição do resíduo disposto em aterros no ano y , em t CH_4 não recuperadas;
QR_y	Quantidade de resíduos destinados para o aterro no ano y em t;
$L_{0,y}$	Potencial de geração de metano no ano y em t CH_4 / t resíduo;
R_y	Recuperação de metano no aterro no ano y em t CH_4 ;
OX_y	Fator de oxidação, adimensional;

MCF₀	Fator de correção de metano baseado na qualidade no aterro, adimensional;
DOC_{média}	Valor de carbono orgânico degradável médio (valor calculado de acordo com a composição média dos resíduos sólidos urbano);
DOC_i	Carbono orgânico degradável do resíduo <i>i</i> ;
%_{i,y}	Fração de quantidade de resíduo <i>i</i> no ano <i>y</i> ;
DOC_f	Fração de resíduo que se decompõe, adimensional (valor padrão de 50%, conforme IPCC, 2019);
16/12	Conversão de massa de C em CH ₄ , 1,33;
F_{CH4}	Fração de metano no biogás, adimensional (valor padrão de 50%, conforme IPCC, 2019).

A.2.2. Resíduos Sólidos destinados a processos de incineração

Para se estimar as emissões relacionadas com o tratamento de resíduos de serviços de saúde utilizam-se as seguintes equações:

$$\text{EMISSÕES DE CO}_2 - E_{\text{CO}_2,y} = \sum (SW_i * dm_i * CF_i * FCF_i * OF_i) * 44/12$$

Em que:

y	Ano de referência do Inventário;
i	Tipo de resíduo;
E_{CO₂,y}	Emissões CO ₂ atribuíveis à incineração do resíduo no ano <i>y</i> , em t CO ₂ ;
SW_i	Quantidade de resíduos destinados para incineração (peso úmido), em tonelada de resíduos;
dm_i	Teor de matéria seca no resíduo, adimensional;
CF_i	Fração de carbono no resíduo (massa seca), adimensional;
FCF	Fração de carbono fóssil no total de carbono, adimensional;
OF_i	Fator de oxidação, adimensional;
44/12	Fator de conversão de C para CO ₂ ;

$$\text{EMISSÕES DE N}_2\text{O} - E_{N2O,y} = \sum (IW_i * EF_i) * 10^{-6}$$

Em que:

y	Ano de referência do Inventário;
i	Tipo de resíduo;
E_{N2O,y}	Emissões N ₂ O atribuíveis à incineração do resíduo no ano <i>y</i> , em t N ₂ O;
IW_i	Quantidade de resíduos destinados para incineração, em tonelada de resíduos;
EF_i	Fator de emissões N ₂ O por tipo de resíduo <i>i</i> , em kg N ₂ O por tonelada de resíduo;
10⁻⁶	Conversão de quilograma para tonelada.

A.2.3. Efluentes Domésticos

A quantificação do CH₄ gerado durante o tratamento de efluentes das ETEs ou para a fração não coletada é necessário definir a quantidade de matéria orgânica apresentada pela variável Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Essa fração orgânica irá passar pelo processo de degradação e seu potencial de geração de metano será relacionado com a rota de tratamento utilizada, onde métodos com características anaeróbicas apresentam fatores de correção de metano (MCF) mais próximos a um, enquanto método aeróbicos apresentam valores mais próximos ao zero. A principal equação utilizada é apresentada a seguir:

$$E_{CH4,i,y} = POP_y * MCF_i * B_0 * BOD_{rate} * 0,001 * 365 * 10^3$$

80

Em que:

y	Ano de referência do Inventário;
i	Tipo de tratamento de efluente (reator anaeróbio ou fossa séptica);
E_{CH4,y}	Emissões CH ₄ atribuíveis ao tratamento de efluentes do tipo <i>i</i> no ano <i>y</i> , em t CH ₄ ;
POP_y	Número de habitantes do Estado sem esgotamento sanitário no ano <i>y</i> ;
BOD_{rate}	Quantidade média de Demanda Bioquímica de Oxigênio (<i>BOD</i> , do inglês, <i>Biochemical Oxigen Demand</i>) gerada por habitante, por dia em g BOD/ hab./ dia (utilizada a medida da Embasa de 54 g BOD/ hab./ dia);
MCF_i	Fator de correção de metano para o tipo de tratamento <i>i</i> , adimensional (valor de 0,5 conforme IPCC, 2019);
B₀	Valor máximo de produção de CH ₄ em efluentes sanitários em kg CH ₄ / kg BOD (valor padrão de 0,6 kg CH ₄ / kg BOD, conforme IPCC, 2019).

Os valores de MCF foram obtidos do IPCC (2019) para cada tipo de tratamento. No que se refere à população não atendida pelo sistema de esgotamento sanitário, considerou-se o lançamento direto do esgoto não tratado na rede de drenagem ou diretamente no corpo hídrico adjacente às residências, adotando um perfil conservador para as estimativas de emissões.

A.3. AGRICULTURA, FLORESTAS E OUTROS USOS DA TERRA

Os métodos de cálculo e maiores detalhamentos podem ser obtidos nas notas metodológicas setoriais do SEEG (2023a; 2023b).

ANEXO B. FATORES DE EMISSÃO

Neste Anexo são apresentados os fatores de emissão (FE) utilizados na elaboração do IEGEE. Os fatores de emissão são valores que correlacionam uma atividade antrópica com sua respectiva quantidade de GEE lançada na atmosfera. Esses valores podem ser definidos de forma padronizada (default) pelo IPCC, para atividades que tenham um perfil de emissão similar, ou específica, a nível nacional, como os elaborados pelo MCTI para o inventário nacional de emissões e remoções antrópicas.

As tabelas com os FE utilizados neste Inventário estão divididas de acordo com os cinco setores de emissões da metodologia GPC, passando pelos setores e subsetores de Energia Estacionária, Transportes, Resíduos e AFOLU, com suas respectivas fontes. O setor de *IPPU* ainda não está neste Anexo porque, por enquanto, não foram destacadas as emissões diretas.

B.1. ENERGIA ESTACIONÁRIA

Tabela B1. Fatores de Emissão do Sistema Interligado Nacional (Fator médio anual)

Ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Fator Médio (t/MWh)	0,074	0,075	0,0617	0,1264	0,0426	0,0385

Fonte: MCTI, 2025.

82

Tabela B2. Fatores de Emissão do Sistema Interligado Nacional (Fator médio anual)

Precursor	Densidade (kg/m ³)	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 (Fontes Estacionárias/ Setor Energia/ Subsetor Construções Residenciais, Agricultura, Silvicultura e Pesca) em quilograma de GEE por Terajoule (TJ)

Precursor	FE CO ₂	FE CH ₄	FE N ₂ O	Unidade de medida
GPL	63.100	5	0,1	kg GEE/TJ
Gás Natural	56.100	5	0,1	kg GEE/TJ
Óleo Diesel	74.100	10	0,6	kg GEE/TJ

Fonte: Volume 2 - Energia (IPCC, 2006).

Tabela B4. Fatores de Emissão de GEE
(Fontes Estacionárias/ Setor Energia/ Subsetor Construções Comerciais e Institucionais)

Precursor	FE CO ₂	FE CH ₄	FE N ₂ O	Unidade de medida
GPL	63.100	5	0,1	kg GEE/TJ
Gás Natural	56.100	5	0,1	kg GEE/TJ
Óleo Diesel	74.100	10	0,6	kg GEE/TJ

Fonte: Volume 2 - Energia (IPCC, 2006).

Tabela B5. Fatores de Emissão de GEE
(Fontes Estacionárias/ Setor Energia/ Subsetor Indústria de Manufatura e Construção)

Precursor	FE CO ₂	FE CH ₄	FE N ₂ O	Unidade de medida
GPL	63.100	1	0,1	kg GEE/TJ
Gás Natural	56.100	1	0,1	kg GEE/TJ
Óleo Diesel	74.100	3	0,6	kg GEE/TJ

Fonte: Volume 2 - Energia (IPCC, 2006).

B.2. TRANSPORTES

Tabela B6. Fatores de Emissão de GEE (Fontes Móveis/ Transporte Terrestre)

Precursor	FE CO ₂	FE CH ₄	FE N ₂ O	Unidade de medida
Biodiesel	2.431	3	-	kg GEE/TJ
Etanol	0,000384	-	0,000013	kg GEE/m ³
GNV	56.100	92	3	kg GEE/TJ
Gasolina Automotiva	69.300	25	8	kg GEE/TJ
Óleo Diesel	2.603	3,9	3,9	kg GEE/TJ

Fonte: Volume 2 - Energia (IPCC, 2006); Programa Brasileiro GHG Protocol, 2016.

Tabela B7. Fatores de Emissão de GEE (Fontes Móveis/Transporte Aéreo)

Precursor	FE CO ₂	FE CH ₄	FE N ₂ O	Unidade de medida
Gasolina de Aviação	70.000	0,5	2	kg GEE/TJ
Querosene de aviação	71.500	0,5	2	kg GEE/TJ

Fonte: Volume 2 - Energia (IPCC, 2006).

B.3. RESÍDUOS

Tabela B8. Fatores de Correção de CH₄ (Tratamento de efluentes)

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

Fonte: Volume 5 - Resíduos (IPCC, 2019).

Tabela B9. Fatores de Emissão de GEE (Tratamento de efluentes)

Tipo de tratamento de efluente	FE N ₂ O (kg N ₂ O-N/kg N)
Esgoto coletado e não tratado (descarte em corpos hídricos)	0,005
Esgoto não coletado e não tratado (esgoto a céu aberto)	0,019

Fonte: Volume 5 - Resíduos (IPCC, 2019).

Tabela B10. Fatores de Correção de CH₄ (Resíduos Sólidos)

Parâmetro	Valor	Observação
MCF Aterro Sanitário	1	Fator de correção de CH ₄
MCF não categorizado	0,6	Fator de correção de CH ₄
DOC _f (padrão)	0,6	Fração do carbono orgânico degradável que decompõe
F (padrão)	0,5	Fração de CH ₄ no gás de aterro
GWP CH ₄	28	Potencial de Aquecimento Global do Metano (AR5)
Fator de oxidação (OX)	0,1	Para aterros bem manejados
Fator de oxidação (OX)	0	Para disposição não manejada

Fonte: Volume 5 - Resíduos (IPCC, 2019).

Tabela B11. Recuperação de metano (Resíduos Sólidos)

Parâmetro	Valor	Observação
F	0,5	Fração de CH ₄ gerado em aterro
CH ₄ Flare	a receber	Fração de CH ₄ recuperado
DOC _{M Ceará}	a receber	Matéria orgânica degradável a partir da gravimetria

Fonte: Volume 5 - Resíduos (IPCC, 2006).

Tabela B12. Fatores de Emissões de GEE (Incineração do RSS)

FE CO ₂ (tGEE/t)	FE CH ₄ (tGEE/t)	FE N ₂ O (gGEE/t)
0,572	6	100

Fonte: Volume 5 - Resíduos (IPCC, 2019).

Tabela B13. Composição Gravimétrica (Resíduos Sólidos)

Material	%	DOC
Alimentos	a receber	0,15
Papel e papelão	a receber	0,4
Plástico	a receber	0
Metal	a receber	0
Vidro	a receber	0
Outros e resíduos inerte	a receber	0
Carbono orgânico degradável	a receber	

Fonte: Volume 5 - Resíduos (IPCC, 2019).

ANEXO C. REGISTRO DE REUNIÕES E MATERIAIS PARA ELABORAÇÃO DO IESEE DO CEARÁ

A capacitação e sensibilização sobre o inventário, foi realizada presencialmente em 03/04/2025 e contou com apoio da equipe técnica do ICLEI. Além disso, foram elaborados materiais para apoio na organização do evento e na capacitação conforme a tabela C.1. abaixo:

Tabela C1. Composição Gravimétrica (Resíduos Sólidos)

Materiais de apoio	Arquivo
Nota conceitual sobre a capacitação	Nota conceitual_CE_capacitação 03.04.2025.pdf
Lista de convidados feita pela CODES-SEMA com apoio do ICLEI	convidados para a sensibilização em 03.04.2025.jpeg
Conteúdo da capacitação de 03/04/2025	20250403 Capacitação e sensibilização Ceará.pdf

Fonte: Volume 5 - Resíduos (IPCC, 2019).

Fotos da capacitação presencial podem ser vistas abaixo.

- **Capacitação em 03/04/2025**



Fonte: Créditos, Comunicação SEMA.

Durante o período de coleta de dados, a partir de abril de 2025, foram desenvolvidos materiais de apoio e modelos para auxiliar no processo de solicitação e organização das informações. Estes materiais são detalhados na tabela C.2.

Tabela C2. Materiais para a fase de coleta de dados

Materiais de apoio	Arquivo
Pasta com ofícios	MODELOS DE OFÍCIOS
Planilha compartilhada para controle de coleta de dados	00 Controle de Coleta de Dados - IEGEE do Ceará.xlsx
Mapeamento de atividades do setor de Processos Industriais e Uso de Produtos	MAPEAMENTO_IPPU_CE.pdf

Fonte: Volume 5 - Resíduos (IPCC, 2019).

Além de orientações por e-mail, também foram realizadas reuniões online para acompanhamento da elaboração do inventário junto ao CODES-SEMA. Os registros podem ser vistos abaixo.

C.1. Fase de Elaboração do Plano de Trabalho

REUNIÃO ONLINE 01 - 17/12/2024

Participantes:

- **Estado do Ceará:** Aline Parente, Márcio de Oliveira, Viviane Monte, Wersangela Duavi.
- **ICLEI:** Fernanda Gouveia, Gil Scatena, Iris Coluna, Joice Oliveira, Léa Grujer, Luis Gustavo Pinto.



REUNIÃO ONLINE 02 - 15/01/2025

Participantes:

- **Estado do Ceará:** Allyne Gama, Fabio Gusmão, Matheus Pinheiro, Monica Carvalho, Valeria Barbosa, Viviane Monte, Wilker Sales.
- **ICLEI:** Iris Coluna, Joice Oliveira, Keila Ferreira.

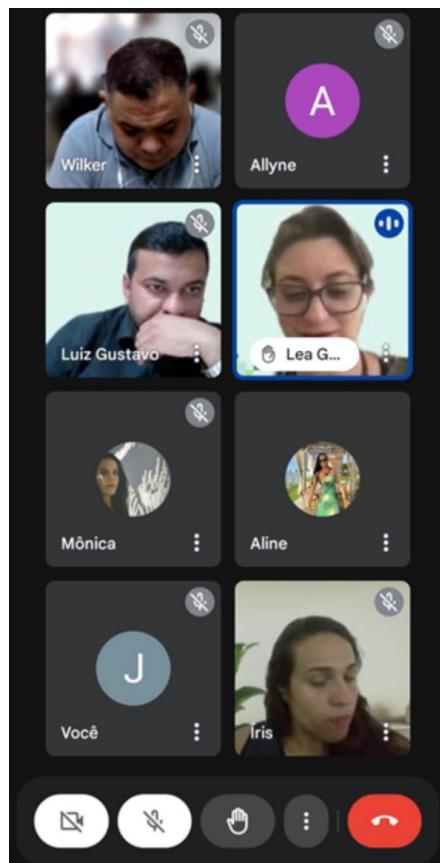


C.2. Fase de Organização da Capacitação e Sensibilização

REUNIÃO ONLINE 03 - 27/02/2025

Participantes:

- **Estado do Ceará:** Aline Parente, Allyne Gama, Monica Carvalho, Wilker Sales.
- **ICLEI:** Iris Coluna, Joice Oliveira, Léa Gejer, Luiz Gustavo Pinto.



C.3. Fase de Acompanhamento da Coleta de Dados

REUNIÃO ONLINE 04 - 10/04/2025

Participantes:

- **Estado do Ceará:** Allyne Gama, Monica Carvalho, Wilker Sales.
- **ICLEI:** Iris Coluna, Joice Oliveira.



REUNIÃO ONLINE 05 - 06/05/2025

Participantes:

- **Estado do Ceará:** Aline Parente, Lara Gurgel, Matheus Pinheiro, Mônica Carvalho, Wilker Sales.
- **ICLEI:** Iris Coluna, Joice Oliveira, Léa Gejer.



REUNIÃO ONLINE 06 - 20/05/2025

Participantes:

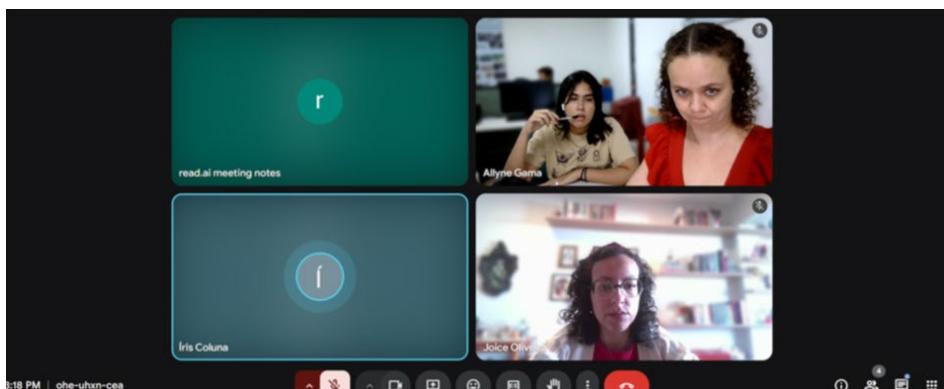
- **Estado do Ceará:** Allyne Gama, Lara Gurgel, Wilker Salles.
- **ICLEI:** Iris Coluna, Joice Oliveira.



REUNIÃO ONLINE 07 - 03/06/2025

Participantes:

- **Estado do Ceará:** Allyne Gama, Lara Gurgel.
- **ICLEI:** Iris Coluna, Joice Oliveira.



90

REUNIÃO ONLINE 08 - 12/06/2025

Participantes:

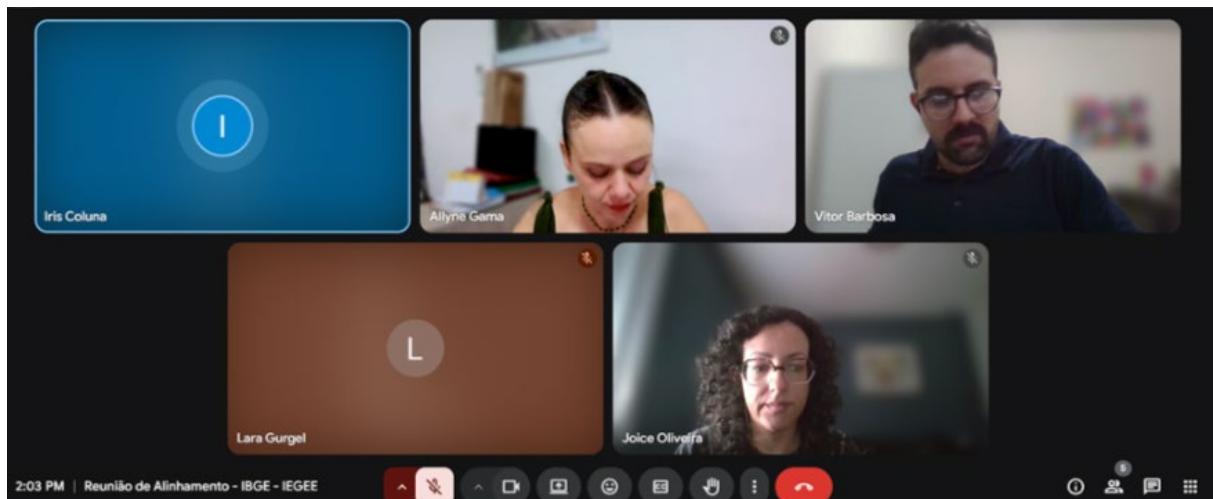
- **Estado do Ceará:** Allyne Gama, Lara Gurgel.
- **CAGECE:** Ana Karolina Lima Machado, Delano Cidrack, Frank Bezerra, Italo Cavalcante.
- **ICLEI:** Iris Coluna, Joice Oliveira.



REUNIÃO ONLINE 09 - 12/06/2025

Participantes:

- **Estado do Ceará:** Allyne Gama, Lara Gurgel.
- **IBGE:** Vitor Barbosa.
- **ICLEI:** Iris Coluna, Joice Oliveira.



REUNIÃO ONLINE 10 - 17/06/2025

Participantes:

- **Estado do Ceará:** Allyne Gama, Lara Gurgel.
- **Marquise Ambiental:** Tiago Paiva.
- **ICLEI:** Gustavo Sanches, Iris Coluna, Joice Oliveira, Luiz Gustavo Pinto.



REUNIÃO ONLINE 11 - 17/07/2025

REUNIÃO ONLINE 12 - 21/07/2025

Participantes:

- **Estado do Ceará:** Allyne Gama, Lara Gurgel.
- **CIPP:** Ieda Passos.
- **Consultoria MRS:** Matheus Marques, Evaldo Bruno Silva.
- **ICLEI:** Joice Oliveira, Léa Gejer.





CEARÁ
GOVERNO DO ESTADO

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE
E MUDANÇA DO CLIMA



Governos Locais
pela Sustentabilidade

