



Financiado pela
União Europeia



BELÉM
PREFEITURA
TAMO JUNTO POR BELÉM

2023

INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

BELÉM/PA



EXPEDIENTE

Prefeitura Municipal de Belém do Pará

Edmilson Brito Rodrigues

Prefeito

Edilson Moura da Silva

Vice-Prefeito

Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão

Cláudio Alberto Castelo Branco Puty

Secretário Municipal de Planejamento e Gestão

Secretaria Municipal de Meio Ambiente

Christiane Ferreira da Silva

Secretária Municipal de Meio Ambiente

Coordenação Executiva

Edilson Rodrigues de Sousa

Nathália Obando Maia Mendes

Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão

Equipe Técnica

Sergio Brasão e Silva

Fórum Municipal de Mudanças Climáticas

Patricksandre Oliveira da Silva

Ana Luiza de Araújo e Silva

Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão

Thays Corrêa Rocha

Alexandre Mesquita

Secretaria Municipal de Meio Ambiente

João Pedro Galvão Ramalho

Secretaria Municipal de Controle, Integridade e Transparência

João Batista de Melo Bastos

Secretaria Municipal de Economia

Omar Numa Abrahão

Superintendência Executiva de Mobilidade Urbana de Belém

David Figueiredo Ferreira Filho

Secretaria Municipal de Turismo

Allan Carlos de Ataíde Aires

Secretaria Municipal de Urbanismo

Mauro Gilberto Ribeiro da Costa

Secretaria Municipal de Saneamento

Alana Canosa do Nascimento

Secretaria Municipal de Saúde

José Akel Fares Filho

Companhia de Desenvolvimento Municipal

Revisor

Smile de Souza Golobovante

Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão

Pacto Global de Prefeitos pelo Clima e Energia

Helinah Cardoso

Diretora Regional do Pacto Global de Prefeitos pelo Clima e a Energia nas Americas

Rebecca Borges

Especialista do Pacto Global de Prefeitos pelo Clima e a Energia nas Americas para a América Latina

Brenda Izidio

Assessora de Relações internacionais – Helpdesk

Bruna Bezerra

Assistente de Comunicação - Helpdesk

José Moreno

Assessor de Comunicação - Helpdesk

Rodrigo Fuhr

Coordenador Geral - Helpdesk

ICLEI América do Sul

Rodrigo de Oliveira Perpétuo

Secretário-Executivo

Rodrigo Corradi

Secretário-Executivo Adjunto

Ana Wernke

Coordenadora de Relações Institucionais e Advocacy

Iris Coluna

Assessora Regional de Monitoramento, Reporte e Verificação

Kaccnny Carvalho

Analista Regional de Monitoramento, Reporte e Verificação

Tiago Mello

Assistente Regional de Monitoramento, Reporte e Verificação

PREFÁCIO

Prefeitura Municipal de Belém

Ao longo dos anos, testemunhamos mudanças significativas em nosso clima, impactando diretamente a qualidade de vida da população, diante desse cenário, não podemos nos furtar à responsabilidade de agir. A Prefeitura de Belém tem abraçado o desafio de enfrentar as mudanças climáticas de frente, implementando ações concretas e promovendo uma agenda ambiental robusta, sendo uma gestão municipal que apoia a ciência, combate o negacionismo e está aberta ao diálogo com todas as esferas de governo, associações empresariais, sindicatos de trabalhadores, instituições de ensino, movimentos culturais e movimentos sociais do campo e da cidade.

Nossa cidade tem se destacado como um exemplo de comprometimento ambiental com a implementação de projetos inovadores, a promoção de práticas sustentáveis e a adoção de políticas voltadas para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa. A exemplo disso, temos o nosso 1º Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa, sendo uma ferramenta estratégica para enfrentar os desafios das mudanças climáticas de maneira eficaz, sustentável e orientada para o futuro.

Este relatório irá servir, também, como base para a construção do nosso Plano de Enfrentamento às Mudanças Climáticas, no sentido de alcançar toda a população, para que exista um engajamento nessa luta. Isso só será possível se todos participarem, unidos em um trabalho feito democraticamente, sendo este, um dos inúmeros passos que temos dado em direção a uma Belém mais verde e resiliente.

E com a confirmação da Conferência das Partes (COP-30) realizada pela ONU em 2025, em Belém, já vemos ganhos urbanos e sociais para a cidade e a região amazônica, em que a Prefeitura de Belém tem trabalhado incansavelmente em direção à inclusão humana e bem-estar social. E nossa missão é deixar um legado importante para as gerações futuras, mostrando que nossa cidade está comprometida com práticas sustentáveis.

Neste caminho, contamos com a participação ativa de cada cidadão. Juntos, podemos construir uma cidade onde a harmonia entre desenvolvimento e preservação ambiental seja uma realidade tangível. O enfrentamento das mudanças climáticas não é apenas uma tarefa da administração municipal, mas uma missão compartilhada por todos nós, como membros comprometidos desta comunidade.

Edmilson Brito Rodrigues | Prefeito de Belém

PREFÁCIO

Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão (SEGEP)

Belém, cidade conhecida por sua rica diversidade cultural e beleza natural, não está imune aos desafios globais enfrentados pelo nosso planeta. As alterações climáticas têm impactos significativos na qualidade de vida dos cidadãos, na biodiversidade local e na infraestrutura urbana. A escolha de Belém como sede da COP 30, em 2025, é representativa, colocando nossa cidade no centro das discussões sobre a mitigação das mudanças climáticas. Nesse contexto, compreender as emissões de Gases de Efeito Estufa se torna crucial para implementar estratégias de mitigação eficazes e desenvolver políticas públicas que promovam a sustentabilidade.

Este Inventário, portanto, desempenha um papel crucial, fornecendo uma base sólida de dados e análises que contribuirão diretamente para as discussões na COP. Ao apresentar informações detalhadas sobre as emissões locais de gases de efeito estufa, Belém demonstra seu compromisso em enfrentar os desafios climáticos de maneira transparente e proativa. Assim, este documento não é apenas um reflexo das emissões passadas, mas também uma ferramenta valiosa para orientar a tomada de decisões futuras.

Os resultados aqui apresentados serão utilizados para desenvolver estratégias específicas que contribuam para as metas globais de redução de emissões, além de subsidiar o nosso Plano de Enfrentamento às Mudanças Climáticas. Dessa forma, Belém não apenas recebe a COP, mas também se posiciona como um exemplo inspirador de liderança climática, demonstrando seu comprometimento em construir um futuro mais sustentável.

Este inventário representa um passo significativo nessa direção, reconhecendo não apenas os desafios, mas também destacando as oportunidades de inovação e crescimento sustentável que surgem da adoção de práticas ambientalmente responsáveis. Contribuindo assim para a construção de uma Belém mais resiliente, ecologicamente equilibrada e inovadora.

Claudio Alberto Castelo Branco Puty | Secretário de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão

PREFÁCIO

Secretaria Municipal de Meio Ambiente (Semma)

As mudanças climáticas têm impactos globais e regionais, e a região Norte do Brasil, mais precisamente a cidade de Belém do Pará, não está isenta desses efeitos. Já podemos identificar as altas temperaturas, mudanças nos padrões de chuva e incêndios florestais em nossas regiões insulares, impactando a biodiversidade, colocando em risco inúmeras espécies animais e vegetais.

Para isso evitar que este cenário se alastre, necessitamos de ações coordenadas a nível nacional e internacional. Com esta visão, a Prefeitura de Belém, com o apoio do IClel, trabalha na elaboração do primeiro Inventário de Emissão de Gases do Efeito Estufa – GEE, no ano de 2023. Um trabalho que envolve todas as secretarias desta municipalidade.

Tendo como seu principal objetivo quantificar e relatar as emissões de gases que contribuem para o aquecimento global, tais quais dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), o inventário serve também para que possamos conscientizar, monitorar, avaliar e acompanhar as emissões de GEE de fontes humana permitindo levantamentos comparativos e tomada de decisões assertivas, auxiliando na elaboração de políticas públicas e estratégias de mitigação das mudanças climáticas além de formulação de adaptações as mudanças climáticas, identificando as áreas vulneráveis e priorizando desta forma, ações de resiliência, além de incentivo à inovação na busca de tecnologias e práticas mais limpas, impulsionando a inovação tecnológica e a eficiência.

Procuramos com isso desempenhar um papel central na compreensão, gestão e mitigação das mudanças climáticas, contribuindo para uma cidade mais sustentável e resiliente. Além disso, o Inventário de Emissão de Gases do Efeito Estufa – GEE, realizado em 2023 desempenhará um papel crucial nos diálogos nacionais e internacionais, que serão travados durante a COP30 que ocorrerá no ano de 2025 em Belém.

O inventário de GEE constituem em uma parte fundamental da transferência de responsabilização na implementação do Acordo de Paris e de outros acordos climáticos, permitindo, com isso que as cidades e países demonstrem seu compromisso em reduzir as emissões e informem sobre o progresso em direção às metas de limitação do aquecimento global.

Christiane Ferreira | Secretária do Meio Ambiente de Belém

PREFÁCIO

Pacto Global de Prefeitos pelo Clima e a Energia - GCoM

As mudanças climáticas representam um dos maiores desafios do nosso tempo e os governos locais são protagonistas para responder às necessidades decorrentes de seus efeitos sobre a população de cada território. Têm, portanto, um papel decisivo para concretizar as transformações necessárias para o avanço de um desenvolvimento resiliente ao clima e para a implementação do Acordo de Paris.

A União Europeia está convencida que a ação climática local é cada vez mais urgente, e essa é uma prioridade em nossa atuação. O principal canal junto aos governos locais no enfrentamento dos efeitos das alterações climáticas é o Pacto Global de Prefeitos pelo Clima e a Energia. Essa aliança reúne e apoia governos locais que estão empenhados e dedicados a avançar no planejamento e implementação de ações para a descarbonização, adaptação às mudanças climáticas e acesso à energia sustentável.

Compartilhamos essa visão de longo prazo com a Cidade de Belém, a cidade escolhida para acolher a COP 30 em 2025, pela primeira vez na Amazônia! Unir nossas forças para a elaboração desse Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa traz a oportunidade de olhar esse território amazônico de forma mais detalhada, mapeando seu perfil e identificando oportunidades para mitigar os efeitos das mudanças climáticas. Confiamos que essa análise permitirá embasar, qualificar e alavancar ainda mais a ação climática em Belém. Sem dúvidas, é um testemunho do compromisso de Belém com uma ação climática ambiciosa.

Essa é uma agenda estratégica e requer integração entre políticas e setores a nível local, estadual, nacional e internacional. Nesse sentido, saudamos o protagonismo da Cidade de Belém e orgulhamo-nos de contribuir ao processo de diálogo junto a instituições relevantes no tema e do apoio à instalação de um modelo de governança climática consistente para a formulação e implementação de políticas climáticas efetivas. Acreditamos que essa jornada também tem o potencial de ser um catalisador para mudanças transformacionais em seu entorno amazônico, assim como em sua integração multinível para o fortalecimento da agenda climática da Amazônia.

Felicitemos Belém por reconhecer que esse é um pilar tão estratégico quanto urgente e por liderar o caminho para um futuro mais sustentável para a população em seu território e para Amazônia como um todo. Vamos continuar a trabalhar juntos neste caminho para uma transição justa e sustentável.

Marian Schuegraf | Embaixadora da União Europeia no Brasil

PREFÁCIO

ICLEI - América do Sul

O ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade é rede global de governos locais e regionais comprometidos com a sustentabilidade, e atua com o compromisso de limitar o aumento da temperatura média global em 1,5° - conforme previsto no Acordo de Paris - a partir de ações práticas, ajudando cidades ao redor do mundo com o enfrentamento à mudança do clima.

Belém do Pará se associou ao ICLEI em 2022 com o objetivo central de promover políticas públicas e iniciativas voltadas para um desenvolvimento de baixa emissão de carbono. O enfoque abrange a adaptação e resiliência diante da crise climática, a promoção da sustentabilidade, a preservação da biodiversidade urbana e a inclusão de comunidades mais vulneráveis. Situada na região da Amazônia Legal, Belém busca fortalecer uma estratégia coletiva em prol da sustentabilidade e do cumprimento das metas climáticas. Isso se reflete na implementação de uma governança climática alinhada ao cenário internacional, evidenciado pela criação do Fórum Municipal sobre Mudanças Climáticas.

No ano de 2022, Belém participou do I Encontro Regional ICLEI Amazônia, onde formalizou seu compromisso ao assinar o Termo de Compromisso para engajamento no Fórum de Cidades Pan-Amazônicas (FCPA). Além disso, aderiu ao Pacto Global de Prefeitos pelo Clima e Energia (GCoM) e ao Compromisso de Malmö. A cidade já havia anteriormente assumido compromissos importantes, como a Declaração de Edimburgo e o Tratado de Não Proliferação de Combustíveis Fósseis.

Além disso, é importante destacar que Belém está se preparando para sediar a 30ª Conferência da ONU sobre Mudanças Climáticas (COP30) em novembro de 2025. Com uma população superior a 1,5 milhão de habitantes, a cidade está empenhada em priorizar tanto as necessidades das pessoas quanto a preservação do meio ambiente. Belém trabalha ativamente para implementar um modelo de desenvolvimento sustentável que seja socialmente inclusivo e que promova ações e parcerias para alcançar os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

O ICLEI América do Sul tem orgulho de fazer parte dessa jornada e de apoiar Belém na construção de um desenvolvimento de baixo carbono, centrado na natureza, resiliente, circular, equitativo e orientado para as pessoas.

Aproveite a leitura!

Rodrigo Perpétuo | Secretário Executivo

LISTA DE ACRÔNIMOS

AFOLU	Agricultura Florestas e Outros Usos do Solo
ANA	Articulação Nacional de Agroecologia
ANA	Agência Nacional de Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
AR5	Quinto Relatório de Avaliação do IPCC
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
GEE	Gases de Efeito Estufa
GLP	Gás liquefeito de petróleo
GNV	Gás Natural Veicular
GPC	Protocolo Global para Inventários de Emissões de GEE na Escala da Comunidade
GWP	Potencial de Aquecimento Global
HFC	Hidrofluorcarbonos
IAS	Instituto Água e Saneamento
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICLEI	Governos Locais pela Sustentabilidade
IEMA	Instituto de Energia e Meio Ambiente
IEGEE	Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa
IMAFLOA	Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola
IMAZON	Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia
IPAM	Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima
IPPU	Processos Industriais e Uso de Produtos
MONA	Monumento Natural
PFC	Perfluorocarbonos
PIB	Produto Interno Bruto
RD	Região de Desenvolvimento
RMB	Região Metropolitana de Belém
RVS	Refúgio de Vida Silvestre
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
SIN	Sistema Interligado Nacional
SINIR	Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos

SNIS Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Delimitação dos Escopos considerados na metodologia GPC.....	18
Figura 2. Localização do município de Belém do Pará.	21
Figura 3. Evolução das emissões totais de GEE para o município de Belém de 2018 a 2022.	28
Figura 4. Evolução das emissões de GEE desagregadas por escopo.	30
Figura 5. Perfil médio de emissões desagregadas por escopo para o período de 2018 a 2022.	30
Figura 6. Evolução das emissões gerais desagregadas por setor para Belém de 2018 a 2022.	31
Figura 7. Contribuições gerais por setor de emissão ao longo dos anos analisados.	33
Figura 8. Evolução das emissões do setor de Energia Estacionária para os anos de 2018 a 2022.	34
Figura 9. Evolução das emissões de GEE por subsetores de Energia Estacionária de 2018 a 2022.	35
Figura 10. Evolução do consumo de energia elétrica no setor de energia estacionária de 2018 a 2022.	36
Figura 11. Evolução dos Fatores de Emissão (FE) associadas ao consumo de energia elétrica de 2018 a 2022.	38
Figura 12. Evolução das emissões oriundas do consumo de energia elétrica para cada subsetor em Belém.	39
Figura 13. Evolução do consumo de combustíveis fósseis no setor de energia estacionária de 2018 a 2022.	40
Figura 14. Evolução das emissões por queima de combustíveis fósseis por tipo de uso de 2018 a 2022.	40
Figura 15. Evolução das emissões por queima de combustíveis fósseis por tipo de combustível de 2018 a 2022.	41
Figura 16. Evolução das emissões gerais do setor de Transportes em 2018 a 2022.	42
Figura 17. Evolução das emissões de GEE por modal de transporte de 2018 a 2022.	43
Figura 18. Evolução das emissões de GEE para transportes público e privado de 2018 a 2022.	43
Figura 19. Evolução das emissões por queima de combustíveis fósseis no setor de transportes.	45
Figura 20. Evolução das emissões de escopo 3 em aviação para os anos de 2018 a 2022.	46
Figura 21. Evolução das emissões do setor de Resíduos em Belém de 2018 a 2022.	47
Figura 22. Evolução das emissões de GEE para o setor de Resíduos de 2018 a 2022.	48
Figura 23. População com e sem coleta de resíduos domiciliares no município de Belém.	49
Figura 24. Evolução da quantidade de resíduos domiciliares gerados em Belém de 2018 a 2022.	50
Figura 25. Evolução das emissões pela disposição final de resíduos sólidos em Belém de 2018 a 2022.	51
Figura 26. Evolução das emissões pela queima a céu aberto de resíduos sólidos em Belém.	52
Figura 27. População com e sem acesso ao serviço de coleta de esgoto.	52
Figura 28. Evolução da população com acesso ao serviço de coleta de esgoto.	53
Figura 29. Evolução das emissões pelo tratamento e afastamento de efluentes líquidos.	54
Figura 30. Resultados gerais do setor de AFOLU.	55
Figura 31. Evolução das emissões de GEE para o setor de AFOLU de 2018 a 2022.	56
Figura 32. Área de floresta amazônica desmatada dentro do intervalo do Inventário.	57
Figura 33. Estimativa de emissões por desmatamento e de remoções por áreas conservadas.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Informações sobre o município de Belém do Pará.....	22
Tabela 2. Potencial de Aquecimento Global (<i>GWP, sigla em inglês</i>) dos Gases de Efeito Estufa....	23
Tabela 3. Setores e subsetores considerados no inventário de Belém.....	25

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. METODOLOGIA.....	18
2.1 FRONTEIRAS DO INVENTÁRIO.....	21
2.2 PERÍODO COBERTO	23
2.3 GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE).....	23
2.4 SETORES DE ATIVIDADE	24
2.5 MÉTODO DE CÁLCULO.....	27
3. VISÃO GERAL DOS RESULTADOS.....	28
3.1 EMISSÕES POR ESCOPO	29
4. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS POR SETOR DE EMISSÃO	31
4.1 SETOR DE ENERGIA ESTACIONÁRIA	34
4.1.1 Energia Elétrica	36
4.1.2 Combustíveis Fósseis.....	39
4.2 SETOR DE TRANSPORTES.....	41
4.2.1 Emissões por tipo de combustível	44
4.2.2 Emissões de escopo 3 no setor de transportes ou <i>Bunker</i>	45
4.3 SETOR DE RESÍDUOS.....	47
4.3.1 Disposição final de resíduos sólidos	48
4.3.2 Disposição e Tratamento de Efluentes Líquidos	52
4.4 SETOR AFOLU.....	55
5. APRIMORAMENTOS E POSSÍVEIS MELHORIAS.....	59
6. COMO BELÉM TEM ENFRENTADO AS MUDANÇAS DO CLIMA?.....	61
7. CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXOS.....	68
ANEXO A. MAPEAMENTO DAS FONTES DE EMISSÃO E COLETA DE DADOS.....	68
ANEXO B. MÉTODO DE CÁLCULO DAS EMISSÕES E REMOÇÕES DE GEE	73
ANEXO C. FATORES DE EMISSÃO.	81
ANEXO D. EMISSÕES DE GEE GPC - REPORTE	94

1. INTRODUÇÃO

O termo 'mudança climática' refere-se às alterações de longo prazo nos padrões de temperatura da Terra, resultantes do aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). A elevada concentração desses gases intensifica de maneira prejudicial o efeito estufa¹, um processo natural que mantém a temperatura da Terra em níveis propícios à manutenção da vida. A intensificação desse fenômeno natural provoca o que é conhecido como aquecimento global, um efeito que retém desproporcionalmente o calor do sol na atmosfera, causando um aumento das temperaturas médias.

Essas mudanças podem estar relacionadas a causas naturais, como erupções vulcânicas e movimentos orbitais da Terra, entre outros fatores. No entanto, desde 1750, a partir da Revolução Industrial, as emissões antropogênicas de GEE passaram a ser mais relevantes. Após a Segunda Guerra Mundial, observa-se uma intensificação ainda maior, derivada do crescimento populacional, avanços na industrialização, expansão urbana, transporte e aquecimento em residências. Neste contexto, a concentração de GEE na atmosfera sofreu um aumento exponencial, partindo de cerca de 273 partes por milhão (ppm) em 1780 para acima de 400 ppm nos dias atuais (Our World in Data, s.d.).

Como resultado do aumento das emissões de GEE, estima-se que a superfície terrestre já esteja cerca de 1,1°C mais quente do que no final do século XIX, sendo que a última década foi considerada a mais quente já registrada. Especialistas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) afirmam que devem ser realizados esforços para limitar o aumento da temperatura global a 1,5°C, o que seria considerado um limite para evitar impactos mais severos e manter o clima habitável (ONU Brasil, 2023).

As consequências globais causadas pelas mudanças climáticas acarretam impactos adversos sobre os sistemas ambiental, econômico e social em diferentes escalas. Além do aumento médio da temperatura, destacam-se abaixo, conforme Margulis (2020) os impactos que a mudança do clima já apresenta e que tendem a se agravar:

- **Precipitação:** observam-se alterações nos padrões de chuvas em todo o mundo, incluindo o aumento de eventos intensos, mesmo em áreas onde a quantidade total de precipitação diminuiu. As previsões para o futuro revelam variações significativas, devido à complexidade na estimativa das mudanças de temperatura. Isso resulta em uma diversidade de resultados

¹ Os raios solares chegam à Terra na forma de radiação ultravioleta (comprimento de onda menores), sendo cerca de metade absorvida pela superfície, dos continentes e oceanos, e convertida em calor – radiação infravermelha (comprimento de onda é maior). Dentre a metade que não é absorvida, cerca de 30% é refletida para o espaço e parte é absorvida pela atmosfera, principalmente pelas partículas de vapor de água, poeira e ozônio (DENCHAK, 2019; MARGULIS, 2020).

nos modelos climáticos, sendo influenciados por distintas variáveis e cenários considerados;

- **Acidificação dos oceanos:** Os oceanos desempenham um papel crucial na interação com a atmosfera, principalmente no que se refere ao balanço energético, envolvendo a troca de calor, e o fluxo de carbono. Desde o início da era industrial, tem ocorrido um aumento significativo na absorção de CO₂ pelos oceanos, resultando em uma acidificação crescente. Essas alterações impactam diretamente a vida marinha, especialmente organismos com estruturas sensíveis à dissolução, repercutindo em toda a cadeia alimentar associada a eles. Vale ressaltar que o aumento da acidificação dos oceanos exerce efeitos prejudiciais e, em alguns casos, leva à extinção de recifes de corais. Estes, por sua vez, são fundamentais, abrigando algas responsáveis pela produção de mais de 50% do oxigênio que respiramos;
- **Elevação do nível médio do mar:** O aumento da temperatura global e dos oceanos está diretamente relacionado ao derretimento de áreas cobertas por gelo ou neve, resultando no aumento do nível do mar. Esse processo de derretimento contribui para o mencionado aumento ao redirecionar a água para os oceanos, somando-se à expansão térmica dos oceanos devido ao aumento da temperatura. A perda anual de massa de gelo na Groenlândia e na Antártida já provoca um aumento no nível do mar de aproximadamente 1,2 milímetros por ano, ressaltando o impacto significativo desse fenômeno;
- **Eventos extremos:** Eventos extremos, como secas, enchentes e ondas de calor, são episódios que se desviam significativamente da média estatística. Embora variações climáticas naturais, como o El Niño, possam desencadear esses eventos, a atividade humana contribui para aumentar sua frequência e intensidade.

Destacam-se, ainda, como impactos associados às mudanças climáticas aqueles relacionados à saúde, como o aumento da proliferação de vetores e o crescimento de doenças cardiovasculares. Além disso, há repercussões nos recursos hídricos, na produção agrícola, entre outros setores. Esses impactos mostram-se mais severos em populações mais vulneráveis e em países economicamente desfavorecidos, devido à menor capacidade adaptativa, à distribuição precária de infraestrutura e à concentração de pessoas em áreas vulneráveis.

A ação local desempenha um papel crucial no enfrentamento dos desafios impostos pelas mudanças climáticas, considerando que as cidades são responsáveis por uma parcela significativa das emissões de GEE, estimando-se cerca de 60%. Conforme Moran et al. (2018), as 100 áreas urbanas que mais contribuem para as emissões de GEE no mundo correspondem a 18% do total de tais emissões, e algumas dessas cidades geram emissões equivalentes às de pequenos países.

É imprescindível abordar de maneira adequada as alterações climáticas para evitar impactos mais significativos provenientes de eventos como secas, chuvas intensas, ondas de calor e aumento do nível do mar. Nesse contexto, a conciliação do desenvolvimento sustentável com a proteção climática requer estratégias de adaptação, que visam minimizar os danos de forma antecipada ou reativa, a partir da

redução da exposição e vulnerabilidade. Além disso, a mitigação desempenha um papel crucial, buscando diminuir o fluxo de GEE na atmosfera, através da redução de atividades emissoras ou da ampliação/melhoria dos sumidouros de CO₂ (IPCC, 2022).

O ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, por meio da metodologia GCC (GreenClimateCities), propõe uma abordagem abrangente para orientar municípios na construção de estratégias urbanas sustentáveis e resilientes às mudanças climáticas. Essa metodologia se constitui em uma estrutura dividida em três grandes fases e em nove diferentes etapas. A primeira, denominada "analisar", tem início com o comprometimento e mobilização da administração local e partes interessadas pela agenda, além da definição da linha de base, que compreende o IEGEE e a análise de riscos e vulnerabilidades climáticas². Em seguida, observa-se a fase que envolve o desenvolvimento da estratégia, delineando diretrizes legais e um plano de ação municipal. Detalhes e financiamento são, então, avaliados para viabilizar a implementação, que ocorre em parceria com organizações selecionadas e é rigorosamente monitorada. Por fim, tem-se a fase de aceleração, em que é incentivada a integração e colaboração com outras cidades para ampliar o impacto, enquanto revisões contínuas e melhorias garantem a eficácia da estratégia ao longo do tempo. A divulgação global e o compartilhamento de boas práticas encerram o ciclo, permitindo que as cidades inspirem e se beneficiem mutuamente, consolidando o compromisso municipal com a sustentabilidade e a resiliência climática (ICLEI, 2016).

A quantificação e gestão das emissões de GEE com vistas à compreensão da realidade para tomadas de decisões assertivas e baseadas em evidências são parte inerente da implementação da agenda climática em nível local, conforme a metodologia supracitada. Nas cidades, as informações sobre o perfil das emissões são fornecidas pelos inventários, denominados de linha de base. A partir da definição de sua abrangência, da identificação das fontes e sumidouros de GEE e da contabilização de suas respectivas emissões ou remoções, o inventário possibilita conhecer o perfil das emissões resultantes das atividades de seus diferentes setores. Por definição, um IEGEE é um instrumento que tem por objetivo quantificar e monitorar as emissões de uma determinada instituição ou comunidade.

A nível local, os inventários são elaborados a partir do Protocolo Global para IEGEE na Escala da Comunidade (GPC). Com este modelo, pode-se delimitar o escopo do projeto, identificar as atividades fontes de GEE e possíveis sumidouros, e contabilizar as emissões ou remoções.

A presente iniciativa é uma ação da Prefeitura de Belém em parceria e com apoio da União Europeia,

² Destaca-se o fato de Belém ter uma análise de riscos e vulnerabilidades climáticas em desenvolvimento também em parceria com o ICLEI a partir do projeto *NBCities*, que “busca promover a conservação da biodiversidade e as agendas de ação climática nas políticas locais na cidade de Belém” a partir do Global Ecosystem-based Adaptation (EbA) Fund.

por meio do Pacto Global de Prefeitos pelo Clima e a Energia (GCoM Américas), e desenvolvido com o acompanhamento técnico do ICLEI. Resulta do diálogo e apoio do Comitê Consultivo Nacional do Pacto Global de Prefeitos pelo Clima e a Energia (GCoM) do Brasil, por meio de suas instituições membro: a Associação Brasileira de Municípios (ABM), a Delegação da União Europeia no Brasil, a Frente Nacional de Prefeitos (FNP), o ICLEI América do Sul e o Instituto Alziras.

A importância de unir forças para qualificar as ações de combate à emergência climática foi ressaltada pelo cenário em que Belém foi oficializada como sede brasileira para receber a 30ª Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP 30) em 2025. Vale destacar que o município tem avançado na pauta climática a partir da implementação de diversos projetos de cunho ambiental.

Este relatório apresenta o mapeamento das fontes de emissão, os dados de entrada para cada fonte mapeada, as premissas adotadas e as referências sobre a fonte dos dados. Sua estrutura é apresentada abaixo:

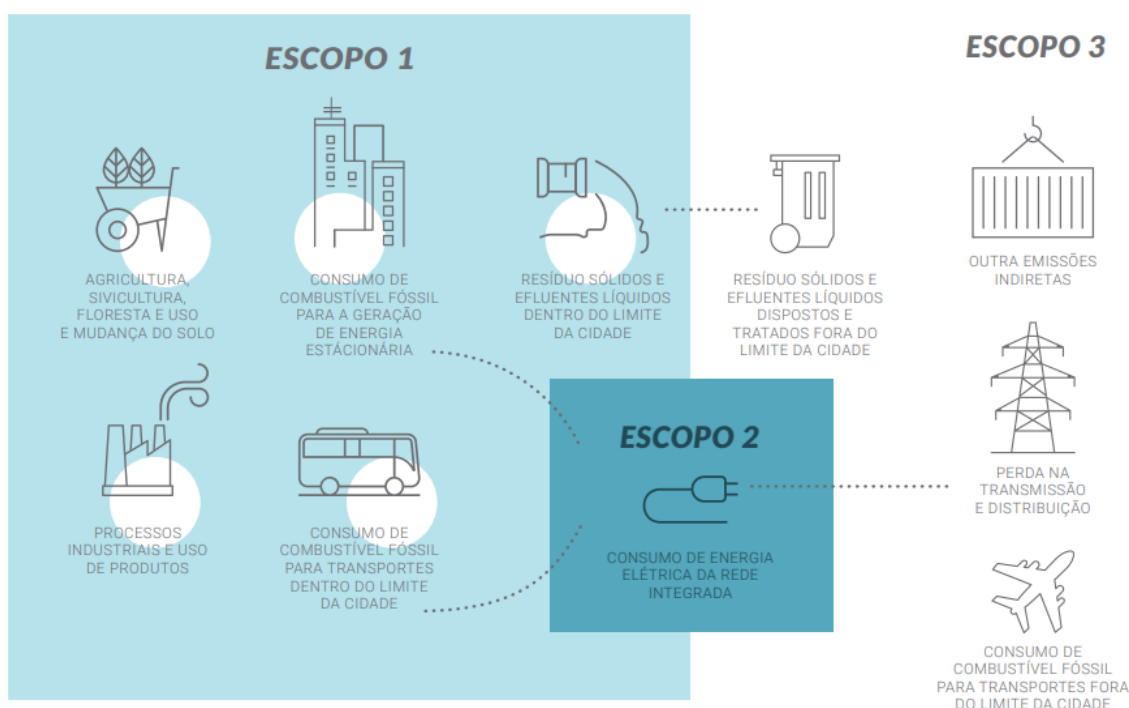
- **Capítulo 1 – Introdução:** contextualiza o IEGEE de Belém do Pará e apresenta a estrutura deste relatório técnico.
- **Capítulo 2 – Metodologia:** define a abrangência do IEGEE de Belém, descreve os princípios de contabilização de sua elaboração, e apresenta o método de cálculo;
- **Capítulo 3 – Visão geral dos resultados:** apresenta os resultados gerais do IEGEE de Belém do Pará;
- **Capítulo 4 – Avaliação dos Resultados por setor:** apresenta os resultados do IEGEE para cada setor e subsetor de atividade;
- **Capítulo 5 – Aprimoramentos e possíveis melhorias:** apresenta tópicos identificados como sensibilidades no processo metodológico e organizacional do IEGEE de Belém e indica caminhos alternativos para próximas experiências;
- **Capítulo 6 – Como Belém está enfrentando a Mudança do Clima?** apresenta medidas e ações tomadas pela Prefeitura Municipal de Belém no que diz respeito à mitigação e à adaptação frente ao desafio global de enfrentamento à mudança do clima;
- **Capítulo 7 – Conclusão:** sintetiza os resultados e discussões deste IEGEE.

2. METODOLOGIA

Os IEGEE são ferramentas essenciais para que os governos locais possam compreender seu perfil de emissões, estabelecer linhas de base e, a partir disso, definir estratégias de mitigação apropriadas ao seu contexto. A nível de cidades, utiliza-se como referencial metodológico o Protocolo Global para IEGEE na Escala da Comunidade (GPC), que foi desenvolvido pelo ICLEI em parceria com o World Resources Institute (WRI) e o Climate Leadership Group (C40) em 2014, com o objetivo de ser uma estrutura robusta e assertiva que permita a agregação de atividades emissoras e forneça confiabilidade para inventários de comunidades, cidades e/ou regiões.

Esse método permite também análises comparativas entre IEGEE de diferentes governos locais, ao estabelecer requisitos e prover orientações para os cálculos e o relato dos GEE. Portanto, este foi o método adotado para a elaboração do primeiro IEGEE de Belém. De acordo com o GPC, os inventários devem ser desagregados em Escopos, que qualificam se as emissões são diretas ou indiretas. Eles são definidos como de Escopo 1, 2 ou 3 com base na localização geográfica das atividades fontes de emissão, conforme apresentado na Figura 1 e detalhados a seguir.

Figura 1. Delimitação dos Escopos considerados na metodologia GPC.



Fonte: Elaboração própria com base no GPC, 2021.

- **Escopo 1:** Emissões por fontes localizadas dentro dos limites do município;
- **Escopo 2:** Emissões de GEE que ocorrem como consequência do uso de eletricidade fornecida

pela rede nacional dentro dos limites do município;

- **Escopo 3:** Emissões de GEE que ocorrem fora dos limites da cidade como resultado de atividades que ocorrem dentro dos limites do município.

Além da desagregação em escopos, outro aspecto importante do GPC é a alocação das emissões em setores e subsetores, com o objetivo de permitir que todas as atividades sejam identificadas e, assim, evitar que os dados sejam subestimados ou superestimados. Para tanto, o método prevê seis diferentes setores nos quais as atividades emissoras podem ser alocadas, a saber:

- **Energia Estacionária:** Aqui estão incluídas as emissões geradas devido à produção, transformação, distribuição e consumo em fontes fixas de diferentes formas de energia. Também se incluem as 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 emissões de vazamentos de gás natural e as emissões de metano durante a mineração de carvão e a queima durante a extração e refino de óleo. O GPC define que as principais fontes sejam apresentadas nos seguintes subsetores: 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;
- **Transporte:** Incluem-se as emissões geradas pela queima de combustíveis em fontes móveis, para os diferentes tipos de modais. Incorpora também, quando existente, o consumo de energia por veículos elétricos. As fontes são desagregadas nos seguintes tipos de transporte: rodoviário, ferroviário, hidroviário, aéreo e off-road. Para tanto, devem ser obtidas informações sobre o consumo de gasolina, etanol, diesel, gasolina de aviação e querosene de aviação, consumo de Gás Natural Veicular, consumo de combustível em viagens nacionais e consumo de diesel no transporte público;
- **Resíduos:** Consideram-se as emissões relacionadas exclusivamente ao tratamento de resíduos sólidos e efluentes. Estimam-se as emissões de GEE advindas da degradação da matéria orgânica e de outros compostos nas diversas rotas de tratamento aplicadas na gestão. No setor, as atividades-fonte estão incorporadas nos seguintes subsetores: disposição de resíduos sólidos, tratamento biológico, incineração e disposição e tratamento de efluentes;
- **Processos industriais e uso de produtos (IPPU, do inglês *Industrial Processes and Product Use*):** incluem emissões decorrentes de processos industriais, associadas à transformação física ou química da matéria, bem como emissões provenientes do uso de GEE em produtos e de usos não energéticos de combustíveis fósseis. As principais fontes de emissão estão relacionadas à indústria de transformação, como, por exemplo, as indústrias de ferro, aço e cimento. Além disso, o uso de GEE (como os Hidrofluorcarbonetos - HFCs) em produtos como refrigeradores, espumas ou latas de aerossol também é contabilizado;
- **Agricultura, floresta e uso da terra (AFOLU, do inglês *Agriculture, Forestry, and Other Land***

Use): englobam emissões provenientes dos fluxos GEE decorrentes do uso e manejo do solo, os quais influenciam uma variedade de processos no ecossistema, como fotossíntese, respiração, decomposição, nitrificação/desnitrificação, fermentação entérica, combustão, entre outros. Todos esses processos envolvem transformações físicas (combustão, lixiviação e escoamento) e biológicas (atividade de microrganismos, plantas e animais) de carbono e nitrogênio. No setor AFOLU, as fontes são segregadas em: rebanhos, uso da terra, emissões agregadas e outras emissões de não-CO₂;

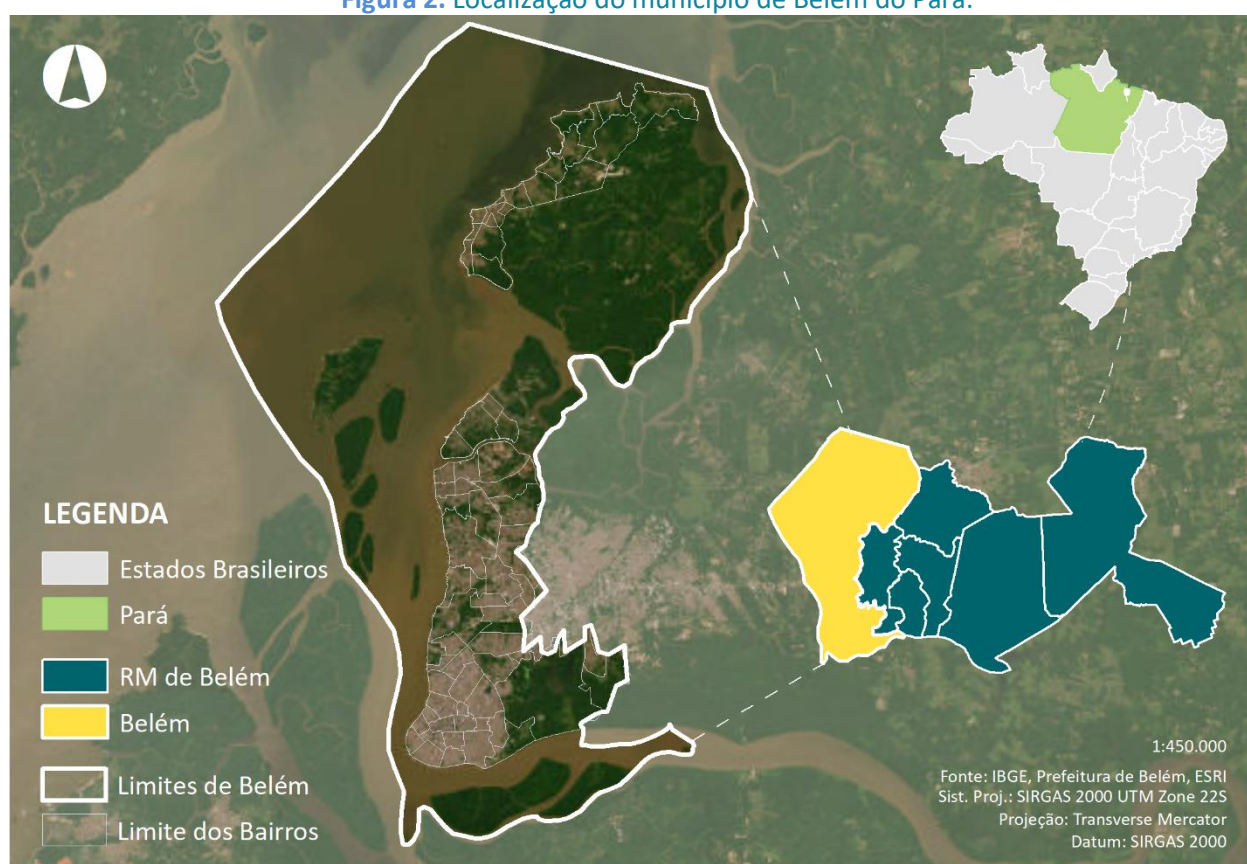
- **Outras Emissões Indiretas:** Registra as emissões geradas por atividades que ocorrem fora da fronteira da cidade, mas que estão relacionadas a atividades dentro de seus limites e que não foram contempladas nos outros setores. Para as estimativas, são consideradas atividades que resultam em emissões indiretas, como a taxa de desperdício de água residuária gerada no município, mas lançada além de seus limites, emissões provenientes do consumo de insumos para construção civil, entre outros.

A realização do inventário exige a definição dos limites do sistema analisado. Este passo inclui a delimitação da fronteira geográfica, a identificação de atividades fontes de emissão e o intervalo de tempo abrangido, aspectos que serão detalhados nos tópicos a seguir. As fronteiras do inventário são projetadas para oferecer uma compreensão abrangente das principais fontes de emissões do município de Belém do Pará. Na ausência de dados adequados para seguir esse princípio, as emissões/remoções podem ser estimadas por meio de métodos estatísticos, como a média, interpolação e extrapolação, desde que devidamente fundamentados e justificados, utilizando o método mais consistente possível para garantir o rastreamento de tendências ao longo do tempo.

2.1 FRONTEIRAS DO INVENTÁRIO

Belém destaca-se como uma das principais cidades do Brasil e está situada na região Norte do país, especificamente na Amazônia brasileira, junto à foz do Rio Guamá. É a capital do estado do Pará e da Grande Belém, uma Região Metropolitana que abrange outros sete municípios: Ananindeua, Barcarena, Benevides, Castanhal, Marituba, Santa Bárbara do Pará e Santa Izabel do Pará, totalizando uma área de aproximadamente 4.876 km², dos quais 1.059 km² pertencem exclusivamente a Belém. Com uma população superior a 1,3 milhão de habitantes (IBGE, 2022), Belém é subdividida em 72 bairros - conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2. Localização do município de Belém do Pará.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

As principais atividades econômicas do município incluem a indústria extrativa, com destaque para a exploração de madeira e açaí, além da prestação de serviços do setor público e do comércio (Banco Central do Brasil, 2013). Segundo o IBGE (2020), aproximadamente 28% da população total, equivalente a 423.501 pessoas, está formalmente ocupada, e quase 40% apresenta rendimento mensal per capita de até 1/2 salário mínimo.

A urbanização observada em seu território corresponde a cerca de 14% da área total, visto que a maior parte dos limites municipais coincide com as áreas de massas d'água. Considerando apenas sua superfície terrestre, essa proporção aumenta para 32%. Parte integrante do Consórcio Interestadual de Desenvolvimento Sustentável da Amazônia Legal, mais de 56% da área terrestre do município é ocupada pela vegetação robusta do bioma amazônico.

Em janeiro de 2023, a cidade foi escolhida como a candidata oficial do Brasil para sediar a Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas em 2025 (COP 30), reforçando o compromisso de tornar a região da Amazônia Legal uma referência mundial no desenvolvimento sustentável. A Tabela 1 resume informações gerais de natureza socioeconômica e ambiental de Belém.

Tabela 1. Informações sobre o município de Belém do Pará.

Caracterização e Limites do Inventário	
Nome do município	Belém
Estado	Pará
País	Brasil
Ano do inventário	2018-2022
Área	1.059,466 km ² (IBGE, 2022).
Limites geográficos	Ananindeua, Marituba e Santa Bárbara do Pará.
População ³ (estimativas IBGE)	2018 - 1.485.732 habitantes; 2019 - 1.492.745 habitantes; 2020 - 1.499.641 habitantes; 2021 - 1.506.420 habitantes; 2022 - 1.303.389 habitantes.
PIB per capita	R\$20.562,10 (IBGE, 2020)
Clima	Tropical
Bioma	Amazônia

Fonte: IBGE, 2020 e 2022.

³ As estimativas da população para o município de Belém foram atualizadas de acordo com o novo Censo (IBGE, 2022), disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/belem/panorama>>.

2.2 PERÍODO COBERTO

O GPC recomenda que os inventários cubram um período contínuo de 12 meses, idealmente alinhado a um ano civil ou financeiro, consistente com os períodos comumente utilizados por cidades ou regiões. Indo além do exigido, a presente análise contabiliza as emissões referentes à série histórica de 2018-2022 no município de Belém, cobrindo um período de cinco anos para proporcionar uma compreensão ainda mais assertiva sobre o perfil das emissões no território.

2.3 GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE)

De acordo com o GPC, os inventários devem abranger os seis tipos de GEE que fazem parte do relatório do Protocolo de Kyoto: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido de nitrogênio (N₂O), hidrofluorcarbono (HFCs), perfluorcarbono (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF₆).

Cada GEE possui um Potencial de Aquecimento Global (Global Warming Potential – GWP, na sua sigla em inglês) associado, que mede 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 um GWP de valor igual a 1. Assim, quando os GEE são convertidos, as emissões são sempre expressas em termos de equivalência de CO₂ (CO₂e).

Os valores de GWP podem ser atualizados ao longo do tempo conforme novas descobertas em relação à estimativa de impacto dos gases. Essas atualizações são reportadas nos relatórios do IPCC. A Tabela 2 apresenta os valores de GWP utilizados no Inventário de Belém, baseados no 5º Relatório de Avaliação do IPCC⁴ (AR5).

Tabela 2. Potencial de Aquecimento Global (GWP, sigla em inglês) dos GEE

GEE	GWP (AR5)
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	28
Óxido Nitroso (N ₂ O)	265
Hexafluoreto de Enxofre (SF ₆)	23.500
HFCs	116 - 12.400
PFCs	6.300 - 17.400

Fonte: IPCC, 2013.

⁴ O AR6, lançado em 2022, traz novos valores de GWP. Entretanto, optou-se por utilizar o AR5 devido à recomendação do método GPC.

O IEGEE de Belém do Pará contemplou as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O, considerando as fontes de emissão mapeadas e a disponibilidade de dados. Além disso, foram computadas as emissões de CO₂ de origem renovável.

Os gases CO₂, CH₄ e N₂O são gerados no município de Belém das seguintes maneiras:

- **CO₂**: É 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 como calcário dolomítico e ureia, e pelo desmatamento de floresta nativa;
- **CH₄**: É 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;
- **N₂O**: É gerado na queima de combustíveis por fontes móveis e estacionárias, em processos de tratamento de efluentes e no uso de fertilizantes nitrogenados.

2.4 SETORES DE ATIVIDADE

Como detalhado nos tópicos anteriores, a metodologia do GPC desagrega as emissões em setores e subsetores. Entre as principais atividades fontes de emissão do IEGEE do município de Belém, não foram incluídas as fontes de emissão no setor de IPPU devido à ausência de grandes indústrias de transformação dentro dos limites do município. Portanto, entende-se que esse tipo de atividade não ocorre no território, e, conseqüentemente, não serão observadas emissões relevantes relacionadas a processos industriais. Além disso, nessa primeira versão, não foram estimadas outras emissões indiretas, uma vez que não é uma exigência do método.

A Tabela 3 apresenta uma descrição dos setores, suas respectivas fontes de emissão e os órgãos fornecedores de dados da cidade de Belém. Destaca-se que informações mais detalhadas podem ser observadas no Anexo 1.

Tabela 3. Setores e subsetores considerados no IEGEE de Belém.

Setor	Subsetor	Origem das emissões	Fornecedor de Dados
I. Energia Estacionária	I.1 - Edifícios residenciais	Emissões provenientes de combustão estacionária (consumo de Gás Natural, GLP e óleo diesel), provenientes do consumo de energia elétrica e de atividades relacionadas ao setor da mineração.	Consumo de combustíveis fósseis – ANP Consumo de energia elétrica – EQUATORIAL ENERGIA Consumo de gás natural canalizado - COMPANHIA DE GÁS DO PARÁ
	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		
	I.6 – Fontes não especificadas		
	I.7 - Emissões fugitivas de atividades de mineração, beneficiamento, estocagem e transporte de carvão		
	I.8 Emissões fugitivas de sistemas de óleo e gás natural		
II. Transporte	II.1 - Rodoviário	Emissões provenientes de combustão móvel em veículos, balsas e aeronaves, consumo de energia elétrica em trens metropolitanos, metrô, e em transportes dutoviários.	Consumo de combustíveis fósseis – ANP Consumo de combustíveis fósseis em transporte público – Secretaria de Mobilidade (SEMOB) Consumo de combustível viagens nacionais – ANAC Quantidade de viagens e volume de combustíveis fósseis da aviação - INFRAERO
	II.2 - Ferroviário		
	II.3 - Hidroviário		
	II.4 - Aviação		
	- Dutoviário		

Setor	Subsetor	Origem das emissões	Fornecedor de Dados
III. Resíduos	III.1 - Disposição de resíduos em aterro sanitário	Emissões provenientes da disposição de resíduos sólidos urbanos e do tratamento de efluentes sanitários.	Resíduos sólidos (volume, tipo de tratamento e composição gravimétrica) – <i>SESAN</i> Efluentes domésticos - <i>COSANPA</i> Produção de Leite Cru - <i>SIDRA/IBGE</i>
	III.2 - Tratamento biológico		
	III.3 - Incineração e Queima a céu aberto		
	III.4 - Disposição de efluentes domésticos (população sem esgotamento sanitário, volume de efluente tratado por tipo de tratamento).		
V. AFOLU	V.1 - Rebanhos: (bovinos, equinos, caprinos, ovinos e suínos)	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.	Número de cabeças de rebanho – <i>SEDAP/SIDRA/IBGE/PPM</i> Supressão vegetal – <i>CENSIPAM e PRODES</i>
	V.2 - Uso da terra: (supressão e remoção vegetal)		
	V.3 - Emissões agregadas e outras de não CO ₂ (aplicação de calcário, ureia e nitrogênio)		

Fonte: Elaboração própria com base no GPC, 2023.

2.5 MÉTODO DE CÁLCULO

Foi empregada uma ferramenta interna do ICLEI América do Sul para realizar as estimativas de emissões de GEE. Trata-se de uma planilha eletrônica aberta, desenvolvida para subsidiar os cálculos com base nos dados recebidos pelas áreas inventariadas e nos fatores de emissão associados a cada tipo de atividade. Este recurso foi compartilhado com a cidade e poderá ser utilizado posteriormente para a atualização do inventário de emissões.

Os fatores de emissão utilizados para cada tipo de fonte foram coletados em bases nacionais, como o 4º Inventário Nacional (MCTI, 2020), e, quando não disponíveis, em bases de dados internacionais, como relatórios do IPCC. De maneira simplificada, as estimativas de emissões e remoções podem ser calculadas a partir do uso da fórmula a seguir:

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

Em que:

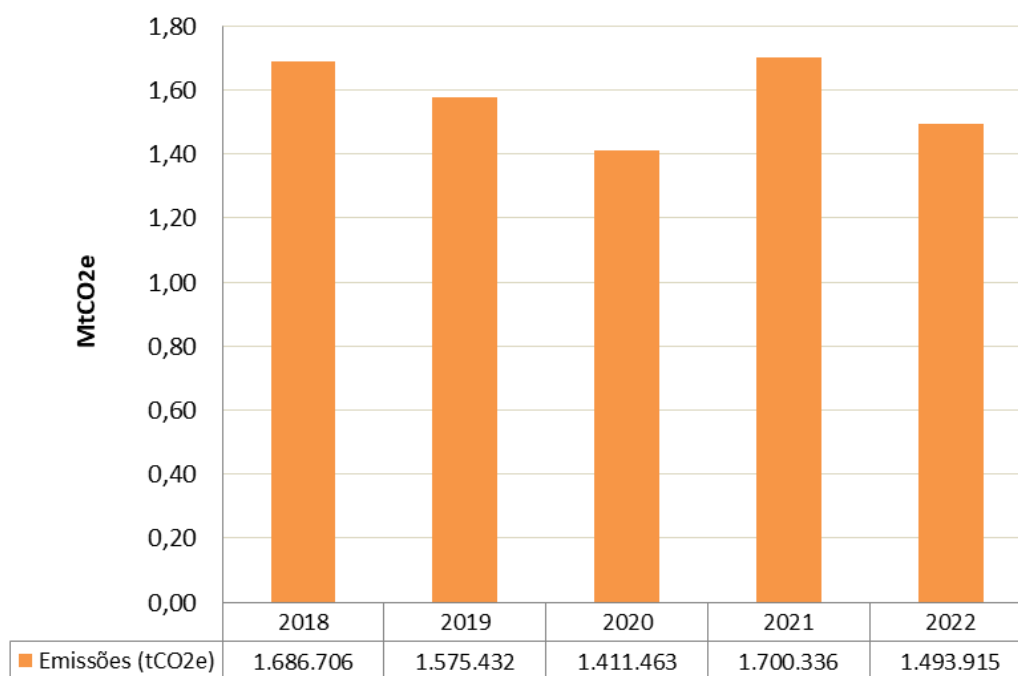
<i>i</i> :	atividade da fonte ou sumidouro individual;
<i>g</i> :	tipo de GEE;
<i>y</i> :	Ano de referência do relatório;
<i>E_{i,g,y}</i> :	Emissões ou remoções de GEE <i>g</i> atribuível à fonte ou sumidouro <i>i</i> durante o ano <i>y</i> , em tCO _{2e} ;
<i>DA_{i,y}</i> :	Dado de atividade consolidado referente à fonte ou sumidouro <i>i</i> durante o ano <i>y</i> ;
<i>FE_{i,g,y}</i> :	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;
<i>GWP_g</i> :	Potencial de aquecimento global de GEE _g , em tCO _{2e} / t GEE _g .

3. VISÃO GERAL DOS RESULTADOS

Os resultados referentes às estimativas de emissões de GEE em Belém do Pará estão apresentados neste documento, seguindo as diretrizes do GPC. Em 2018, a cidade registrou a emissão de 1,69 milhões de toneladas de CO₂e (Mt CO₂e), apresentando uma redução de aproximadamente 7% no ano seguinte, em 2019, com 1,57 Mt CO₂e. No ano de 2020, o primeiro ano da pandemia de COVID-19, foi observada a menor contribuição de emissões, totalizando 1,41 Mt CO₂e.

Posteriormente, em 2021, verificou-se um aumento de aproximadamente 20% em relação ao ano de 2020, marcando o início da retomada, mesmo que parcial, das atividades econômicas. No entanto, houve uma nova redução em 2022, ano em que a cidade contribuiu com 1,50 Mt CO₂e, uma redução de aproximadamente 11% em relação a 2018, primeiro ano da série histórica inventariada. Este comportamento pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3. Evolução das emissões totais de GEE para o município de Belém de 2018 a 2022.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

Destaca-se que as emissões oscilaram ao longo do período avaliado, não permitindo a observação de uma trajetória ou tendência bem definida quanto ao comportamento das emissões. No entanto, é relevante ressaltar que diversos fatores influenciaram tais flutuações nos padrões de emissão. Os próximos capítulos destinam-se a apresentar análises das conjunturas setoriais e de que maneira elas impactaram a evolução das emissões ao longo dos anos.

3.1 EMISSÕES POR ESCOPO

Nesta seção do relatório, serão apresentados os resultados das emissões do município, classificadas por escopo. A metodologia do GPC realiza a categorização das emissões segundo escopos, visando proporcionar uma perspectiva mais abrangente dos impactos e superar as dificuldades decorrentes das questões de fronteiras na mensuração das emissões de entidades subnacionais.

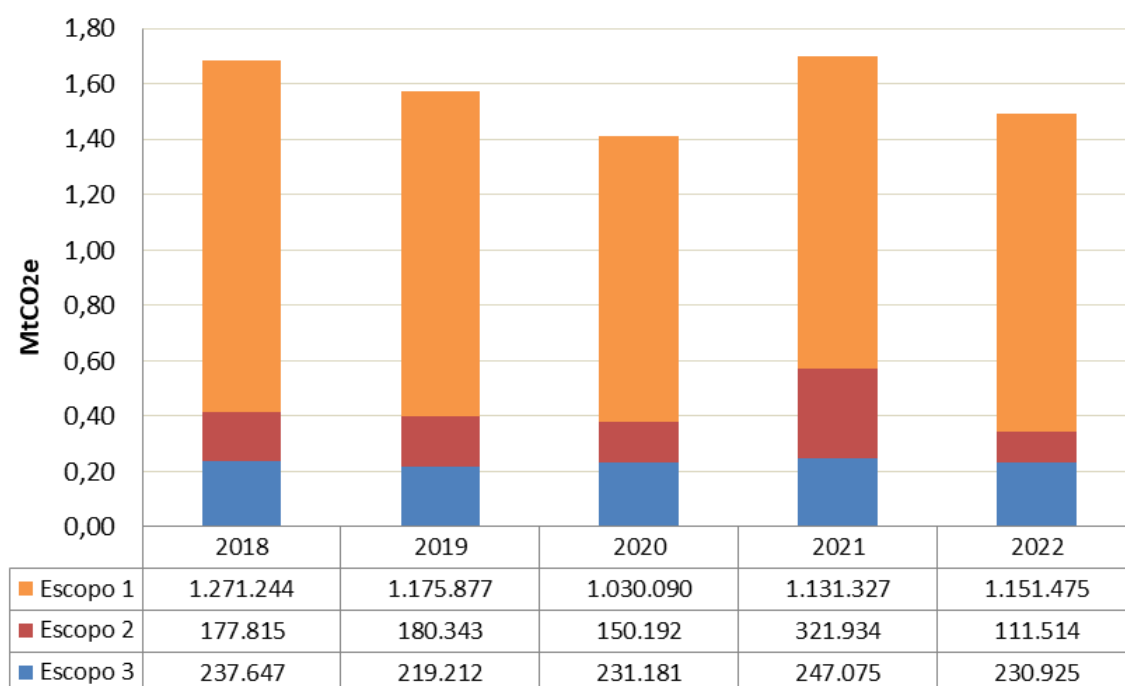
As emissões de Escopo 1 referem-se às emissões diretas provenientes de atividades realizadas dentro dos limites territoriais do município. Em contraste, as emissões de Escopo 2 estão exclusivamente relacionadas ao consumo de energia elétrica proveniente de sistemas interconectados de distribuição, como o Sistema Interligado Nacional (SIN) no Brasil. Por fim, as emissões de Escopo 3 são consideradas emissões indiretas, originadas de fontes localizadas externamente aos limites municipais, mas resultantes de atividades sob a responsabilidade direta da administração municipal.

Os resultados globais permanecem inalterados; no entanto, há uma diferenciação na apresentação dos resultados, conforme evidenciado na Figura 4. A maior contribuição decorre das emissões de Escopo 1, representando, em média, 73% do total de emissões do município. O setor de Transportes destaca-se como o principal contribuinte para essas emissões, devido ao consumo de combustíveis fósseis, sendo responsável por aproximadamente 68% das emissões de Escopo 1.

A segunda maior contribuição é proveniente das emissões de Escopo 3, abrangendo 15% do total das emissões municipais. O setor de Resíduos é responsável pela maior participação, praticamente total, nas emissões no Escopo 3, devido ao encaminhamento de resíduos sólidos para um aterro localizado fora dos limites do município, representando, em média, 97% das emissões associadas a esse Escopo.

As emissões de Escopo 2, refletindo o consumo de energia elétrica fornecida pelo SIN para as atividades nos setores de Energia Estacionária e de Transporte, representam, em média, 12% das emissões totais do município.

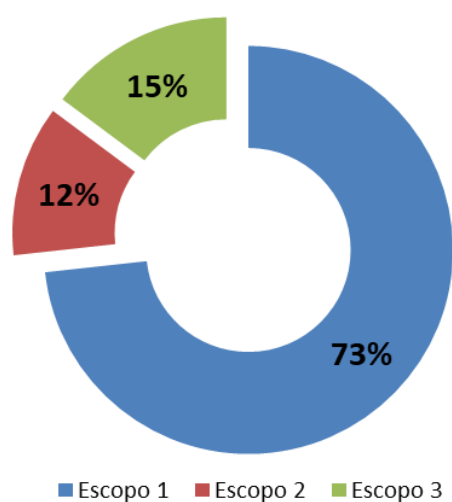
Figura 4. Evolução das emissões de GEE desagregadas por escopo.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

A Figura 5 apresenta a contribuição média de cada escopo no período inventariado (2018-2022). O Escopo 1 representa, em média, cerca de 73% das emissões, o Escopo 3 cerca de 15% das emissões totais, enquanto as emissões referentes ao Escopo 2 correspondem a 12% das emissões totais do município de Belém.

Figura 5. Perfil médio de emissões desagregadas por escopo para o período de 2018 a 2022.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

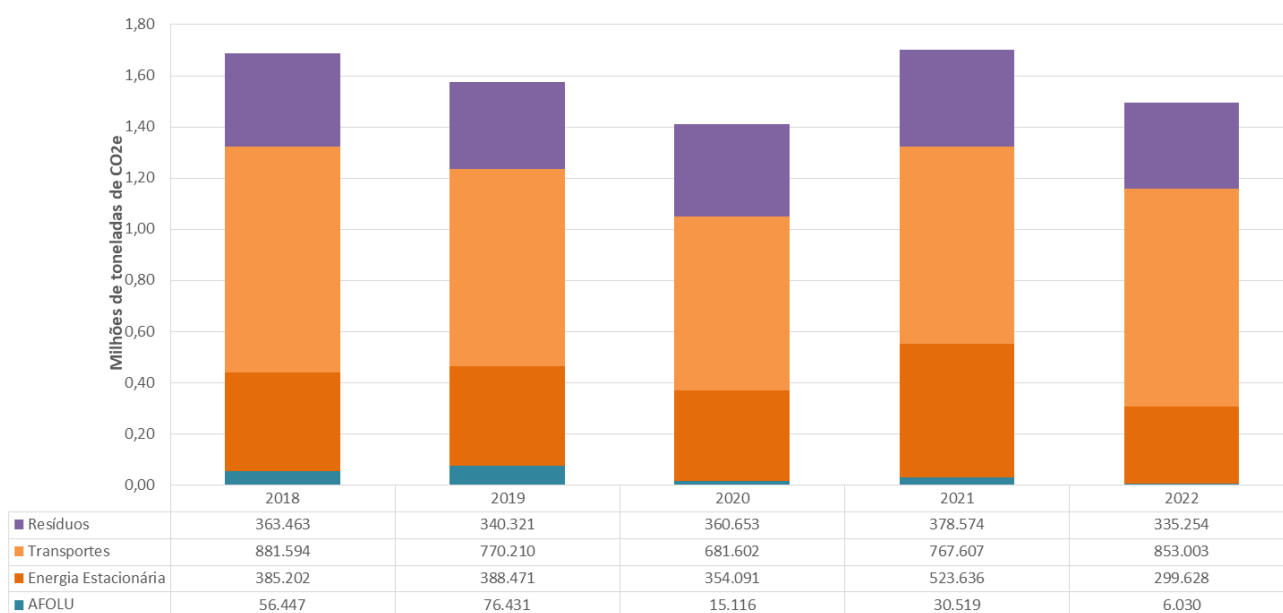
4. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS POR SETOR DE EMISSÃO

As emissões de GEE do município de Belém diminuíram aproximadamente 11,4% no período analisado, especialmente quando comparado o primeiro ano da série ao último. No entanto, isso não significa que esse comportamento foi linear. As emissões oscilaram entre 2018 e 2022, sendo 2021 o ano de maior contribuição e 2020 o de menor.

Todos os setores de atividade registraram reduções em termos absolutos nos anos de 2018 e 2022. Nesse contexto, destacam-se principalmente a diminuição de 89% nas emissões do setor de AFOLU, relacionada principalmente à redução das áreas verdes desmatadas, bem como a redução de 22,22% observada no setor de energia estacionária, derivada da diminuição do consumo de combustíveis fósseis, possivelmente associada à recessão econômica, e a alterações no fator de emissão do SIN.

O setor de Resíduos registrou uma redução de aproximadamente 8% em suas emissões durante o período, relacionada à ampliação dos serviços de saneamento e à redução do número de habitantes apresentada no censo de 2022. Por fim, o setor de Transportes, apesar de apresentar a menor redução, de 3,2%, desempenhou um papel crucial na diminuição das emissões totais do município devido a sua alta representatividade nas emissões globais. A Figura 6 apresenta a contribuição de cada setor para os anos avaliados no âmbito do IEGEE de Belém do Pará (IEGEE).

Figura 6. Evolução das emissões gerais desagregadas por setor para Belém de 2018 a 2022.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

Nota-se que, assim como observado em grandes centros urbanos brasileiros, o setor de Transporte figura em Belém como o de maior contribuição. Destaca-se sua expressividade em todos os anos inventariados, com destaque para 2018, ano em que foram emitidos cerca de 881 mil tCO₂e. É possível observar que entre 2018 e 2020 houve um declínio nas emissões, reduzindo em aproximadamente 23%. Esse comportamento de redução foi acentuado pela pandemia de COVID-19 e pelas medidas de isolamento social. De 2020 a 2022, pode-se notar uma retomada nos padrões anteriormente praticados. Em 2022, último ano aqui analisado, o setor atingiu patamares de emissão muito similares aos de 2018. Em termos de contribuição, o setor de transportes sempre foi equivalente a mais de 45% do total no município, com 45% de contribuição em 2021 - menor aporte - e 57% em 2022 - maior aporte.

O setor de Resíduos alternou entre a segunda e a terceira posição entre os setores com as maiores emissões na capital, juntamente com o setor de energia estacionária; comportamento comum ao contexto urbano, especialmente em grandes cidades, devido à pressão dos processos antrópicos relacionados à disposição de resíduos sólidos e ao tratamento de efluentes líquidos. Em termos gerais, a contribuição desse setor variou de aproximadamente 21% a 25%.

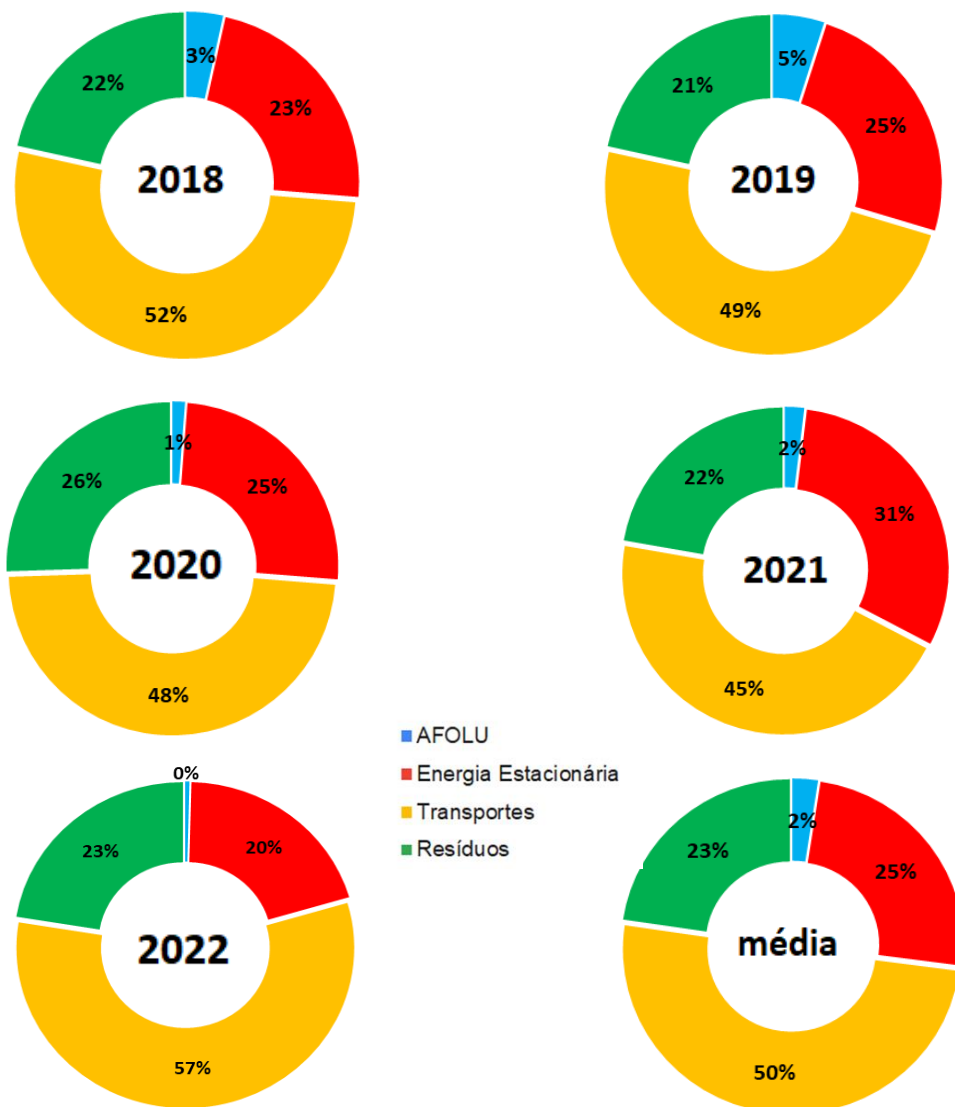
O setor de Energia Estacionária apresentou uma evolução das emissões bastante atípica, com uma pequena flutuação de 2018 para 2019. Já o ano de 2020 trouxe uma redução de cerca de 9% em relação ao ano anterior, também possivelmente relacionada ao ano da pandemia. Por outro lado, devido ao aumento do Fator de Emissão da geração de energia ocasionado pela maior utilização de termelétricas para a geração de energia em decorrência de um longo período de secas, 2021 foi o ano de maiores emissões associadas ao setor. Ao todo, foram contabilizadas 523 mil tCO₂e para este ano, o que representa um aumento de cerca de 48% em comparação a 2020. Por fim, o ano de 2022 apresentou uma redução ainda mais significativa, com uma queda de 22% em relação a 2018, associada principalmente a variações nos fatores de emissão do SIN, conforme será posteriormente explicitado.

O setor de AFOLU, por outro lado, figura como o menor emissor na cidade. Sua contribuição foi de 3,3% em 2018, chegando à contribuição máxima de aproximadamente 5% em 2019, caindo para 1,1% em 2020, alcançando 1,8% em 2021 e chegando a sua menor participação em 2022, com 0,4%. É importante destacar que este é um padrão que contrapõe o perfil do próprio Estado do Pará, maior emissor de CO₂ do Brasil desde 2006 (SEEG, 2022), relacionado justamente a atividades associadas ao desmatamento e à expansão agropecuária. No entanto, como Belém é uma cidade de aspectos urbanos mais consolidados, nota-se que esse setor apresenta uma contribuição pouco significativa.

A contribuição de cada setor variou ao longo do intervalo temporal abordado, embora o panorama

geral tenha sido semelhante. Em média, considerando os cinco anos analisados neste relatório, o setor de Transportes foi identificado como o principal emissor em Belém do Pará, enquanto o setor AFOLU apresentou a menor contribuição. Os setores de Energia Estacionária e de Resíduos demonstraram contribuições bastante próximas durante o período, sendo o ano de 2021 considerado atípico para o setor de Energia Estacionária, conforme pode ser observado na Figura 7.

Figura 7. Contribuições gerais por setor de emissão ao longo dos anos analisados.

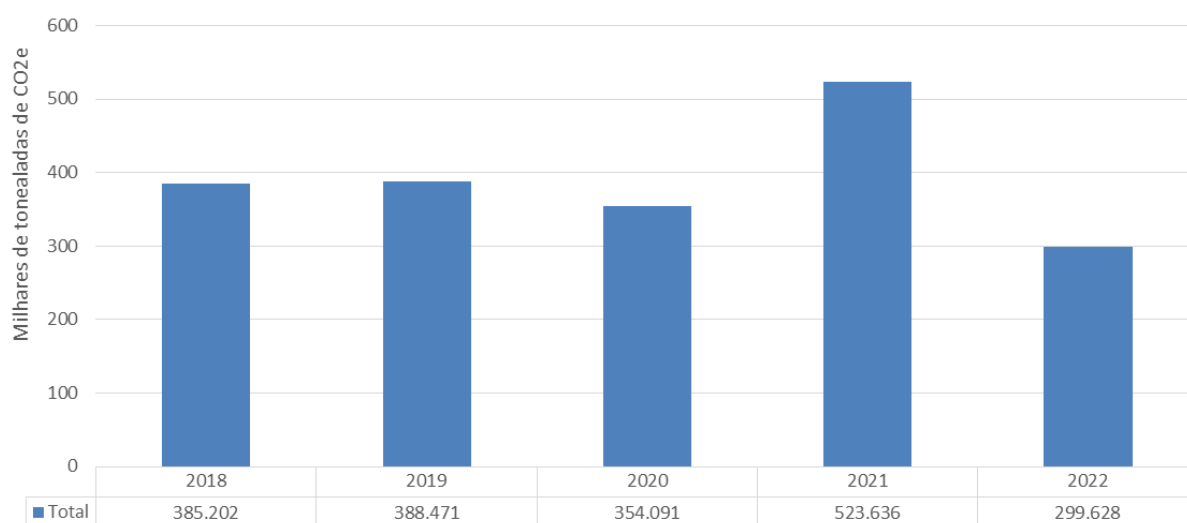


Fonte: Elaboração própria, 2023.

4.1 SETOR DE ENERGIA ESTACIONÁRIA

As emissões do setor de Energia Estacionária são provenientes da queima de combustíveis utilizados, em geral, para produção de vapor ou energia elétrica; do consumo de energia elétrica; e das perdas nos sistemas de Transmissão e Distribuição. Tais emissões foram calculadas para os diferentes subsetores, desagregadas em residências, edifícios institucionais e comerciais, indústrias de manufatura e construção e outros. A Figura 8 mostra os resultados gerais do setor.

Figura 8. Evolução das emissões do setor de Energia Estacionária para os anos de 2018 a 2022.

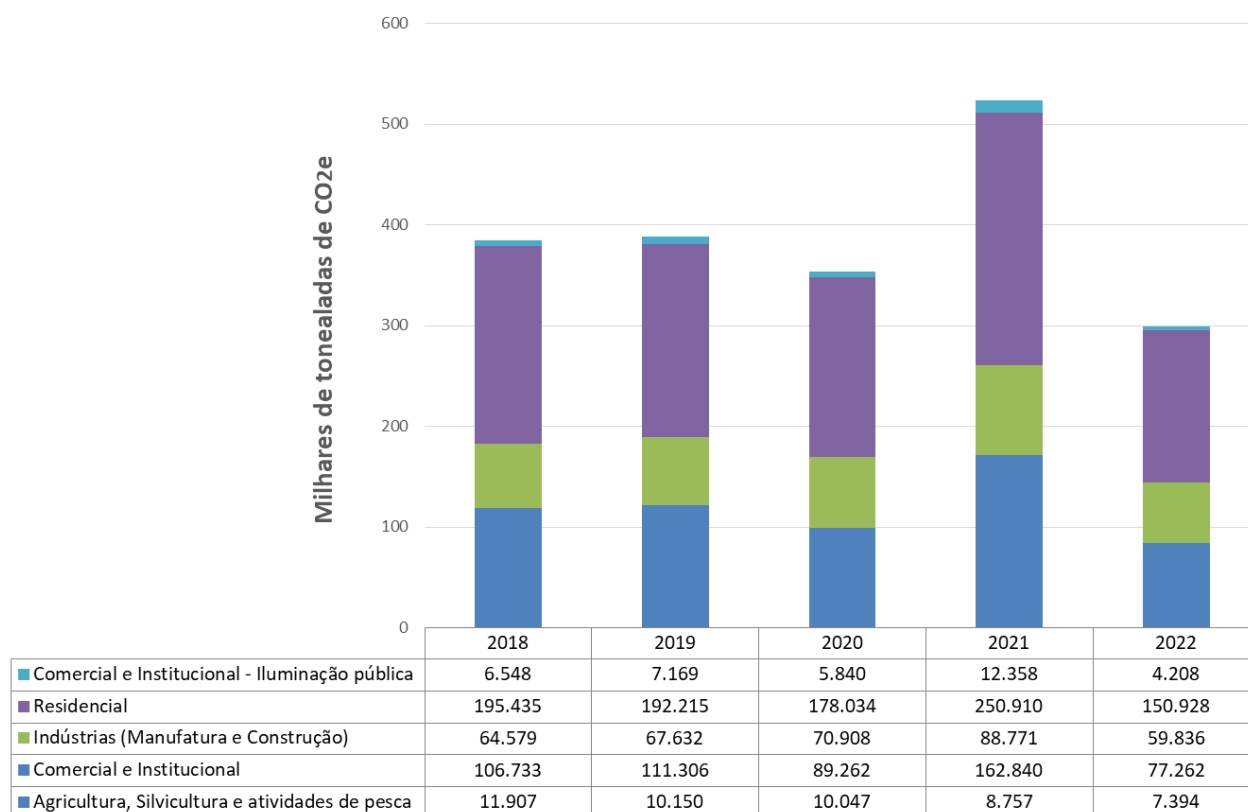


Fonte: Elaboração própria, 2023.

Belém foi responsável pela emissão de 385 mil tCO₂e em 2018, com pequeno aumento em 2019 e, posteriormente, uma redução mais significativa em 2020, ano em que atingiu a contribuição de 354 mil tCO₂e. Em 2021, foi observada a maior contribuição em termos de emissão, registrando a emissão de 523 mil tCO₂e, um aumento de aproximadamente 36% em relação ao primeiro ano analisado. Já em 2022, foi observada a menor contribuição da série histórica, com emissão de 299 mil tCO₂e, representando uma redução de 22% em relação ao ano de 2018.

Essas flutuações podem ser atribuídas a mudanças no mix energético, as quais são refletidas nos fatores de emissão, à recessão econômica no Brasil e aos impactos da pandemia de COVID-19. Além disso, foi observada uma oscilação em relação ao consumo de diferentes tipos de combustíveis fósseis.

Figura 9. Evolução das emissões de GEE por subsetores de Energia Estacionária de 2018 a 2022.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

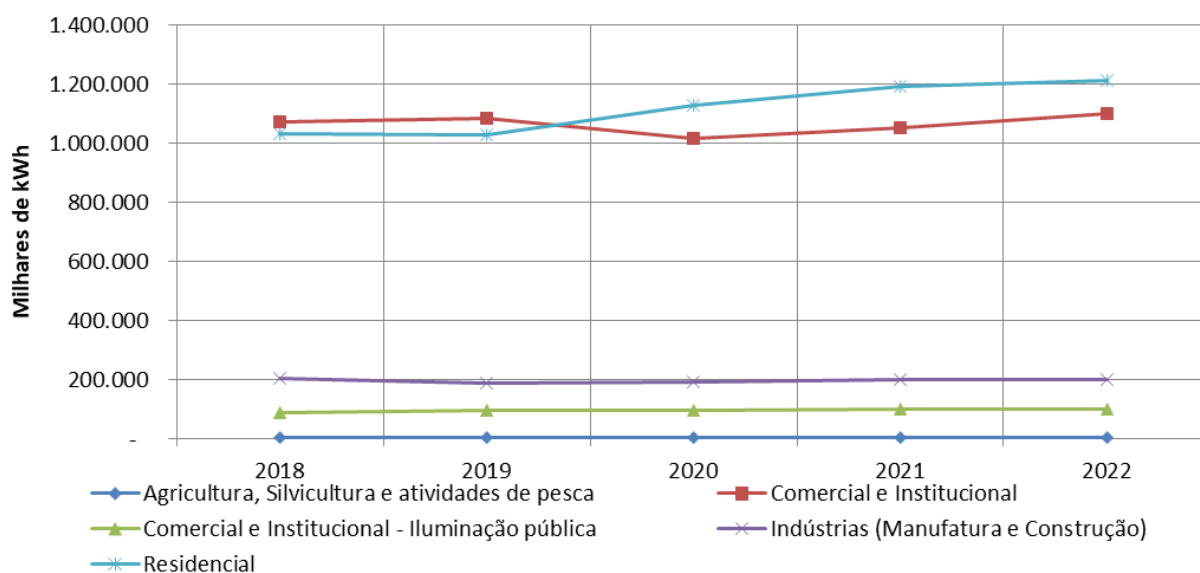
No que diz respeito aos subsetores analisados, observa-se que a esfera residencial é predominantemente responsável pelas emissões de GEE no setor de energia estacionária, conforme pode ser observado na Figura 9. Em todos os anos considerados, esse subsetor foi a principal fonte emissora, com contribuições sempre próximas aos 50%. Já o subsetor de edifícios comerciais e institucionais se apresenta como segundo maior contribuinte, o que corrobora com o perfil econômico do município, marcado por atividades de serviços e comerciais. Como terceiro principal contribuinte, destacam-se as emissões associadas ao subsetor de indústrias de manufatura e construção, relacionadas principalmente com indústrias extrativas, conforme apresentado no perfil socioeconômico da cidade.

Os próximos tópicos destinam-se a apresentar os resultados obtidos pelas principais fontes de emissão no setor: o consumo de energia elétrica e o consumo de combustíveis fósseis.

4.1.1 Energia Elétrica

São utilizadas duas principais variáveis para estimar as emissões relacionadas à energia elétrica, sendo elas o consumo observado no município e o fator de emissão do SIN. Em relação ao consumo, observa-se que tanto residências quanto comércios e instituições se destacam neste aspecto, sendo os principais tipos de uso observados para todos os anos avaliados, conforme apresentado na Figura 10. O terceiro principal tipo de consumo está relacionado a atividades industriais, seguido de contribuições menos relevantes para iluminação pública e atividades de agricultura, pecuária e pesca.

Figura 10. Evolução do consumo de energia elétrica no setor de energia estacionária de 2018 a 2022.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

É importante destacar que o perfil de consumo do município apresentou uma alteração significativa em 2020, quando o consumo de energia elétrica em edifícios residenciais passou a apresentar maiores índices de contribuição. Conforme analisado por pesquisadores do Laboratório de Inspeção de Edificações em Eficiência Energética da Universidade Federal de Pelotas - Linse/UFPel, foi observado aumento nos padrões médios de consumo de energia elétrica residencial em decorrência da pandemia da COVID-19, com o aumento de tarifas mediante as novas necessidades, como o home office, o ensino à distância e o prolongamento do tempo nas casas de maneira geral (Coordenação de Comunicação Social/UFPel, 2021).

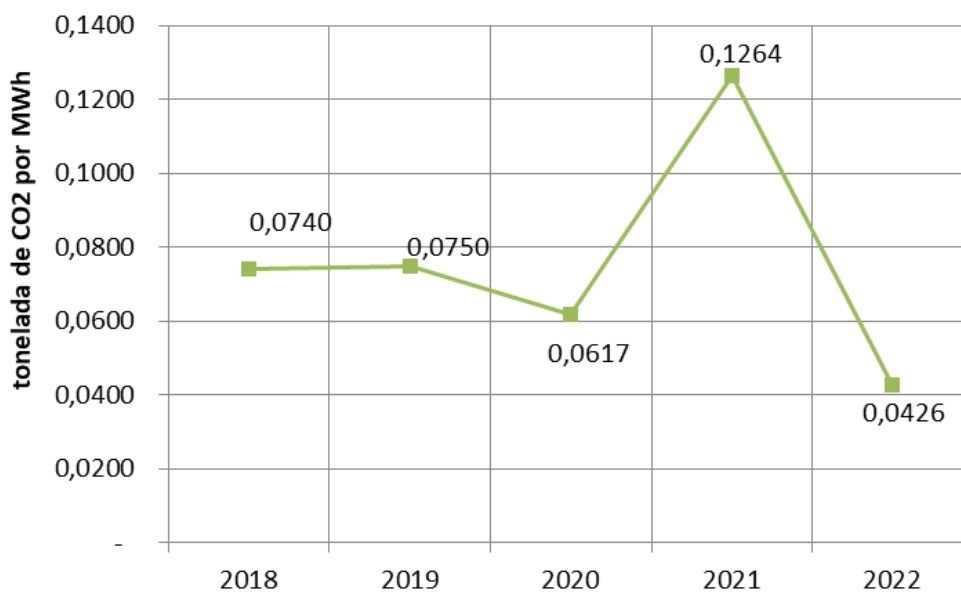
Esse padrão apresentou uma forte tendência de continuidade para anos seguintes, com os regimes de trabalho híbridos ou não presenciais e ensino remoto, mesmo após o final do período de isolamento social (FGV, 2023). Além disso, evidencia-se o comportamento de redução do consumo de energia elétrica em edifícios comerciais, podendo ser justificado pela recessão econômica iniciada com crises

de natureza política e aprofundada pela pandemia da COVID-19.

No que se refere ao fator de emissão, destaca-se que essa variável é utilizada em diversas aplicações que necessitam do fator médio de emissão do Sistema Interligado Nacional do Brasil. Esses fatores têm como propósito estimar a quantidade de CO₂ associada à geração de energia elétrica específica e são disponibilizados mensalmente pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI, 2023). Para realizar os cálculos desses Fatores de Emissão, o MCTI disponibiliza em forma de um fator médio a ponderação das emissões associadas com a geração de energia elétrica, abrangendo todas as usinas que estão produzindo energia no Brasil, não se limitando apenas às que estão funcionando na margem. Portanto, o fator médio é um coeficiente que reflete a média das emissões de GEE em relação ao consumo de energia ou combustível específico de um determinado setor ou atividade. É importante observar que esse fator médio é influenciado por variações climáticas, como a ausência de chuvas ou eventos extremos de precipitação. Essas variações climáticas podem afetar diretamente a geração, principalmente porque a matriz energética brasileira depende significativamente de fontes hídricas, como a energia hidrelétrica.

Em períodos de seca prolongada, como em situações de escassez de chuvas, as hidrelétricas podem operar com capacidade reduzida, resultando em menor geração de energia considerada limpa. Nesse cenário, é comum que haja maior demanda por outras fontes de energia, como termelétricas, que podem ter um perfil de emissão mais elevado. Isso pode levar a um aumento temporário dos fatores médios de emissão associados à geração de eletricidade, uma vez que a proporção de energia proveniente de fontes com maior intensidade de carbono é maior, aspecto que pode ser observado especialmente para o ano de 2021. A Figura 11 apresenta a evolução dos fatores médios de emissão de CO₂ para os anos inventariados.

Figura 11. Evolução dos Fatores de Emissão (FE) associadas ao consumo de energia elétrica de 2018 a 2022.

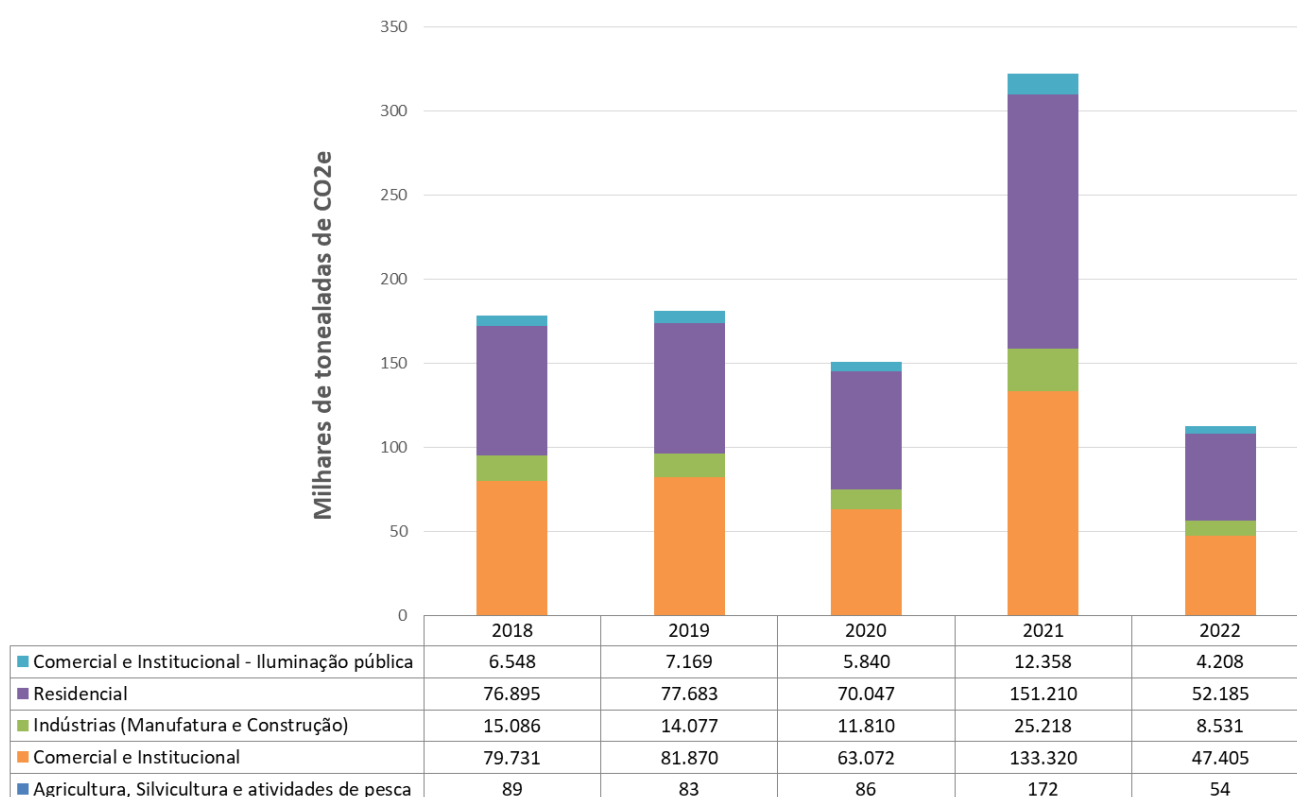


Fonte: Elaboração própria, 2023.

No que tange às emissões propriamente ditas, Belém foi responsável pela emissão de cerca de 178 mil tCO₂e em 2018, em relação ao consumo de energia elétrica, montante que apresentou baixa variação no ano seguinte. Em 2020, em decorrência da pandemia, a capital do Pará observou uma queda dos níveis previamente identificados. Ainda que, a princípio, a demanda energética residencial tenha aumentado em Belém, o decréscimo no fator de emissão e a diminuição do consumo de energia elétrica em comércios compensaram o aumento do consumo em residências, de modo que, no primeiro ano da pandemia, as emissões diminuíram.

Em contrapartida, conforme já mencionado, 2021 apresentou um expressivo pico de emissões em todos os subsetores, atingindo a contribuição de 322 mil tCO₂e, o que representa um aumento de aproximadamente 115% em relação ao ano anterior. Ressalta-se que este significativo aumento está associado ao maior acionamento de termelétricas e ao consequente aumento dos fatores de emissão (IEMA, 2022). Já em 2022, novamente é observada uma redução bastante significativa, de 60%, relacionada também com as alterações do fator de emissão e não necessariamente com mudanças nos padrões de consumo. Os resultados das estimativas de emissões por consumo de energia elétrica constam na Figura 12.

Figura 12. Evolução das emissões oriundas do consumo de energia elétrica para cada subsetor em Belém.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

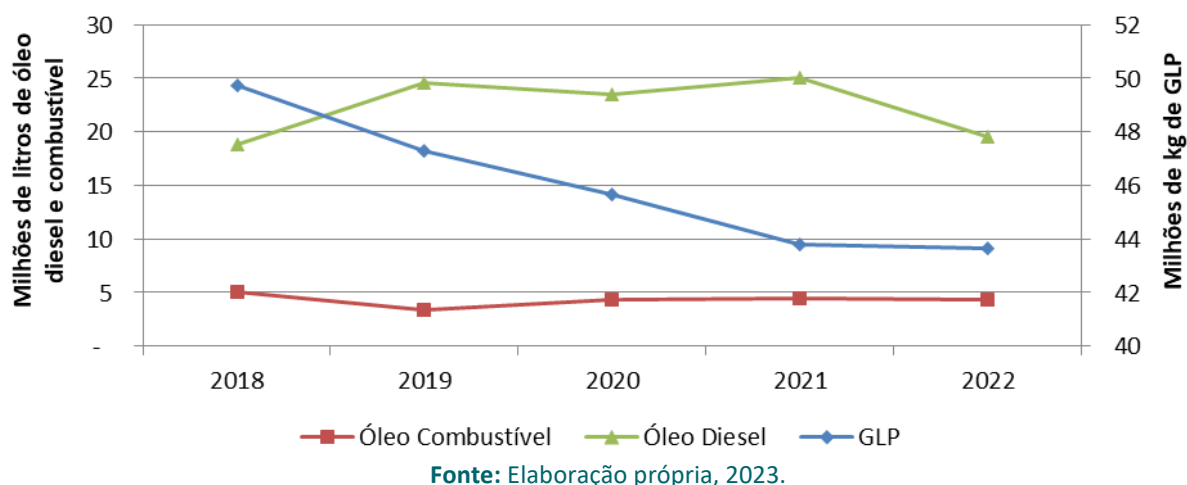
4.1.2 Combustíveis Fósseis

Na cidade de Belém, as emissões por combustíveis fósseis em fontes estacionárias são provenientes do consumo de gás liquefeito de petróleo (GLP), também conhecido como gás de cozinha, óleo diesel e óleo combustível. Destaca-se que, diferentemente de outros grandes centros urbanos, não é observado o consumo de gás natural canalizado dentro da fronteira da cidade, de modo que essa não é uma atividade fonte de emissão relevante.

Em relação aos dados de consumo, observa-se que a utilização de óleo diesel se mostrou relativamente alta nos anos de 2019, 2020 e 2021, enquanto no início e no fim da série, a cidade apresentou menores taxas de comercialização. Quanto ao consumo de óleo combustível, observa-se que ele se mostrou relativamente constante ao longo dos anos analisados, o que significa que para ambos os tipos de combustíveis a pandemia da COVID-19 não impactou severamente em sua lógica de utilização. Por fim, destaca-se que o consumo de GLP apresentou forte queda no decorrer dos anos, relacionada com a recessão econômica e o impacto do preço do gás de cozinha para famílias de baixa renda. A Figura 13 apresenta as informações de consumo para os diferentes tipos de combustíveis, sendo que para óleo diesel e óleo combustível os dados são apresentados em litros, enquanto para o GLP os dados são

apresentados em quilogramas.

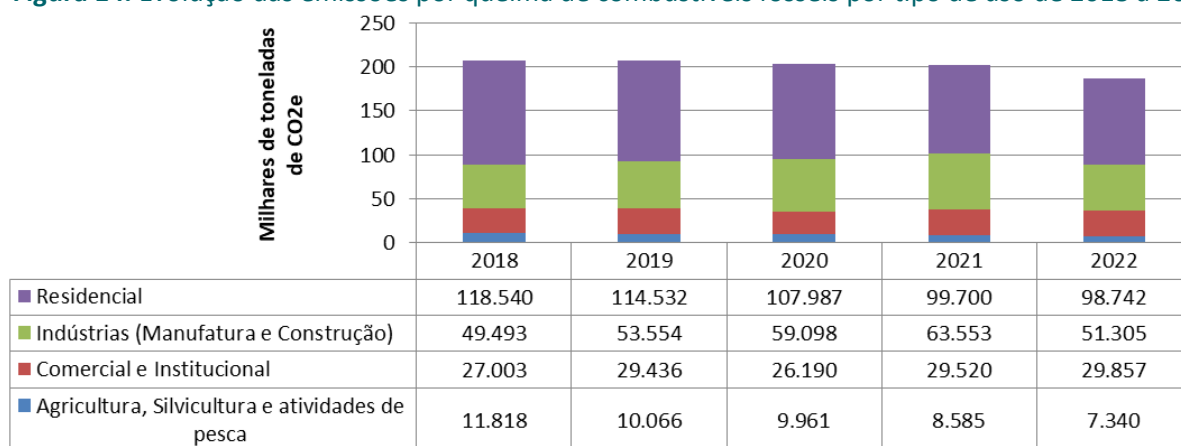
Figura 13. Consumo de combustíveis fósseis no setor de energia estacionária de 2018 a 2022.



As emissões pelo consumo de queima de combustível fóssil correspondem, em média, a 53% das emissões do setor de Energia Estacionária. A Figura 14 ilustra os resultados gerais das emissões por tipo de uso, enquanto a Figura 15 apresenta o resultado das emissões por tipo de combustível. Em 2018, foi observada a emissão de 206 mil tCO₂e, um aumento de 0,4% em relação ao ano de 2019, e com uma redução de 1,75% em 2020. Nos anos posteriores, também é possível observar uma diminuição nas emissões: chegando a estimar-se a emissão de 187 mil toneladas de CO₂e em 2022, o que representa uma redução de 9.5% em todo o período analisado.

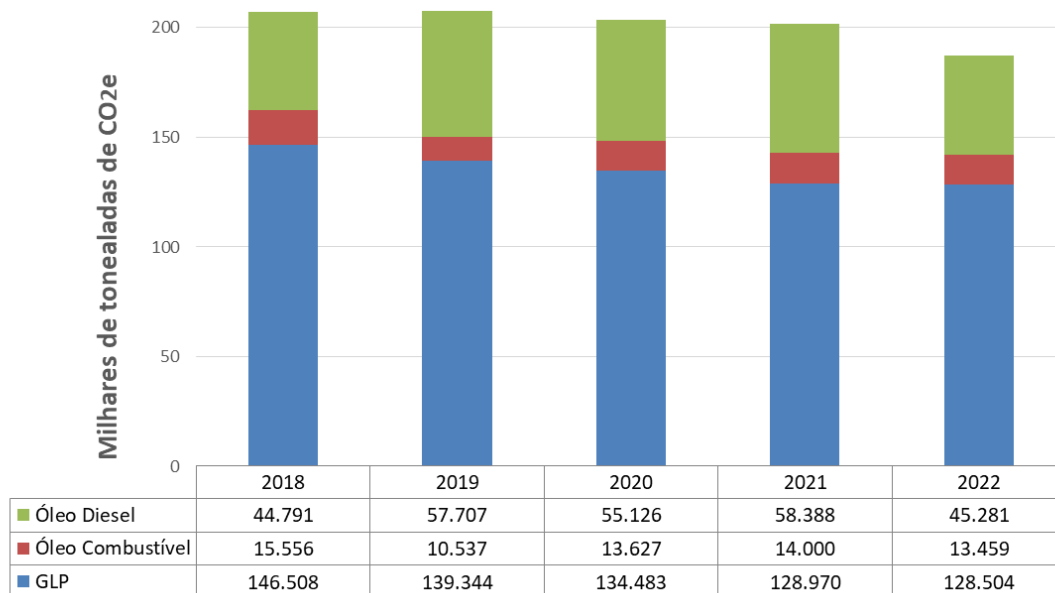
Assim como observado nas emissões relacionadas ao consumo de energia elétrica, destaca-se que o subsetor residencial é o principal contribuinte. No entanto, em segundo lugar, observa-se a contribuição oriunda do consumo de combustíveis fósseis em indústrias de manufatura e construção, enquanto os edifícios comerciais e institucionais configuram-se como o terceiro maior contribuinte.

Figura 14. Evolução das emissões por queima de combustíveis fósseis por tipo de uso de 2018 a 2022.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

Figura 15. Emissões por queima de combustíveis fósseis por tipo de combustível de 2018 a 2022.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

Ao longo desse intervalo temporal, o GLP, utilizado principalmente para cocção em residências, destacou-se como a principal fonte de energia contributiva para as emissões de GEE. Em média, esse subsetor representa 67,3% das emissões totais, demonstrando uma diminuição em sua representatividade dentro das emissões relacionadas à queima de combustíveis fósseis. Em 2018, o GLP respondia por 70,8% das emissões totais, reduzindo para 64% em 2021. No entanto, em 2022, observou-se um aumento, atingindo cerca de 68,6%. Apesar disso, em termos gerais, as emissões de GEE provenientes do GLP têm diminuído, principalmente devido à redução do seu consumo, associada à recessão econômica e dificuldade de acesso. As emissões decorrentes da queima de diesel não seguem um padrão linear, apresentando flutuações da ordem de 22% entre 2018 e 2019, assim como entre 2021 e 2022.

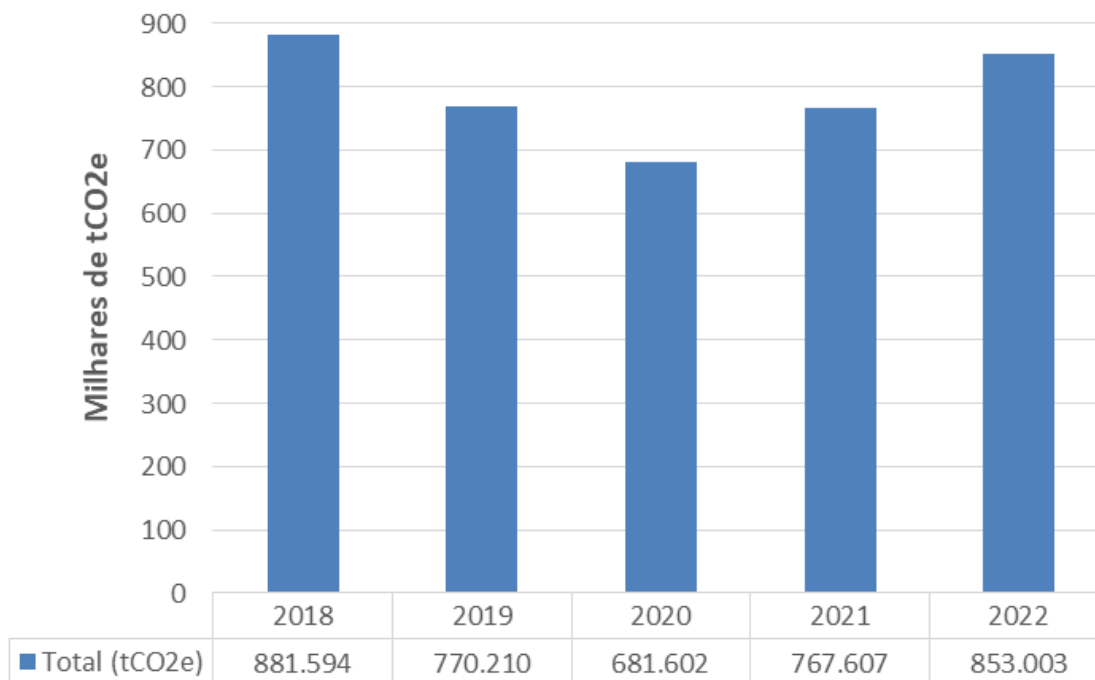
4.2 SETOR DE TRANSPORTES

As emissões do setor de transporte são oriundas da queima de combustíveis fósseis e, em menor escala, do consumo de eletricidade nos diferentes modais existentes. Em Belém, tais emissões foram calculadas a partir de informações obtidas sobre o consumo de energia elétrica e de combustíveis fósseis⁵ - óleo diesel, querosene e gasolina de aviação, gasolina C e etanol - durante o período de

⁵ Conforme recomendado pelo método de comercialização de combustíveis, foi adotada a premissa de que todo combustível vendido dentro dos limites do inventário é utilizado para locomoção dos veículos que circulam no município por tipo de transporte (terrestre, ferroviário, hidroviário e aéreo).

análise. A Figura 16 ilustra os resultados gerais obtidos para o setor.

Figura 16. Evolução das emissões gerais do setor de Transportes em 2018 a 2022.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

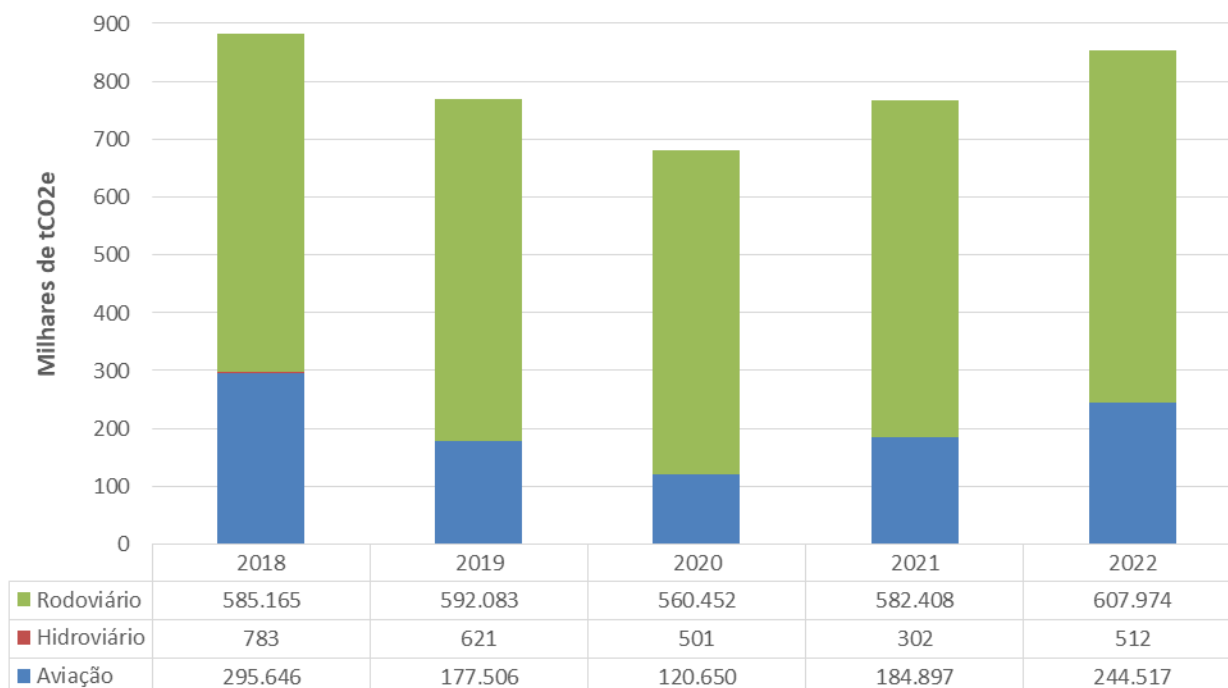
Em 2018, foi observada a emissão de 881 mil tCO₂e, a maior emissão registrada em todo o período analisado. Do primeiro ano de análise até 2020, estimou-se uma redução de aproximadamente 23% no total das emissões, atingindo 681 mil tCO₂e no primeiro ano da pandemia. Posteriormente, nos anos seguintes, foi observado um novo aumento das emissões, possivelmente atrelado à retomada das atividades cotidianas com o fim do isolamento. Em 2022, o setor de transportes foi responsável pela emissão de 853 mil tCO₂e, ainda assim o setor apresentou uma redução (~3%) em relação às emissões do primeiro ano inventariado (2018). Os resultados por subsetor encontram-se na Figura 17.

Em consonância com outras capitais brasileiras, é notável a predominante contribuição do transporte rodoviário no município, sendo responsável, em média, por 74% das emissões em todo o período analisado. Inicialmente, observa-se uma emissão de 585 mil tCO₂e, com um aumento em 2019, seguido de uma queda pouco expressiva - da ordem dos 5% - em 2020, ano do início da pandemia de COVID-19. Posteriormente, o transporte rodoviário retomou padrões de emissão compatíveis com os anos pré-pandemia, sendo 2022 o ano em que se observou a maior emissão - 607.974 mil tCO₂e.

Esse comportamento das emissões é compatível com os dados sobre o número de veículos na cidade. Segundo dados do IBGE (2022), a frota de Belém do Pará em 2022 era de 511.753 veículos, dos quais cerca de 52% eram carros, e menos de 4 mil eram ônibus. O crescimento da frota de automóveis

particulares entre 2018 e 2022 foi da ordem dos 6%, enquanto o transporte coletivo observou um acréscimo de 175 veículos dentro do mesmo período.

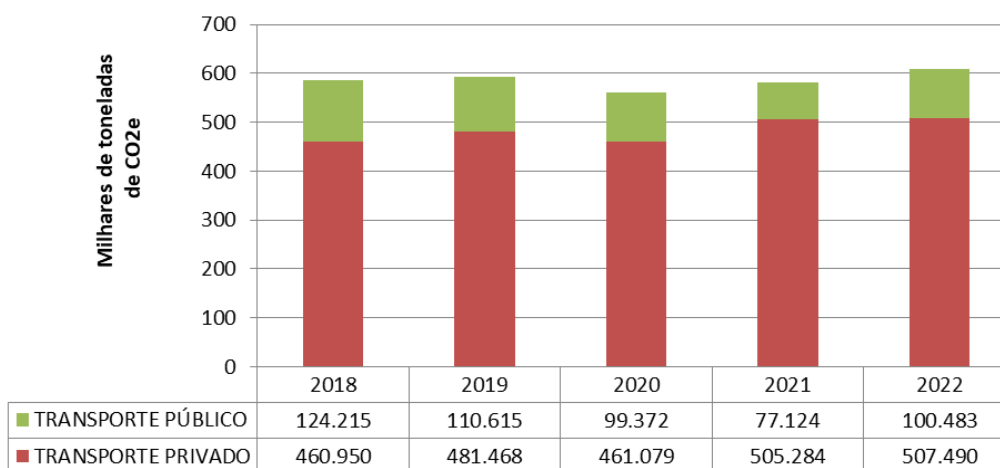
Figura 17. Evolução das emissões de GEE por modal de transporte de 2018 a 2022.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

Devido ao grande número de veículos particulares, em média, 83% das emissões da cidade no transporte rodoviário estão relacionadas com este tipo de veículo. Destaca-se que as emissões relacionadas com o transporte público apresentaram uma redução significativa de 38% até 2021, com posterior aumento de 30% em 2022, conforme pode ser observado na Figura 18.

Figura 18. Evolução das emissões de GEE para transportes público e privado de 2018 a 2022.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

É importante salientar os efeitos da pandemia uma vez que, ao contrário do transporte rodoviário, a aviação foi fortemente impactada. Entre 2018 - ano pico de emissões dentro do período analisado (295.646 mil tCO₂e) - e 2020, observa-se um decréscimo de cerca de 60% no que tange ao consumo estimado de combustível (e consequentes emissões de GEE). Todavia, cabe ressaltar que 2019 já foi um ano de queda em comparação a 2018, o que permite inferir que a desaceleração do subsetor não necessariamente relaciona-se de forma direta apenas com a COVID-19.

Segundo o mais recente Anuário Estatístico de Tráfego Aéreo (Departamento de Controle do Espaço Aéreo, 2022), o Aeroporto de Belém é o 15º no ranking de pousos e decolagens nacional, totalizando neste ano 51.483 voos/pousos. Para que se estabeleça um parâmetro comparativo, o 1º lugar do ranking - o Aeroporto Internacional de Guarulhos, em São Paulo - contabilizou neste mesmo ano 245.163 voos/pousos; enquanto o 14º lugar - o Aeroporto Internacional de Fortaleza - observou 54.327. No contexto de Belém, de 2021 para 2022, houve crescimento de 28,6% no tráfego do Aeroporto - crescimento superior àquele observado entre 2020 e 2021, de 20,4%.

Em relação ao transporte hidroviário de Belém, entende-se que é um tipo de modal importante para a cidade, no entanto, as estimativas no atual inventário se referem exclusivamente ao trecho Icoaraci - Cotijuba, que é a única linha regularizada pela SEMOB. Portanto, compreende-se que é um subsetor com emissões subestimadas devido à indisponibilidade de dados locais sobre todo o sistema. Dessa maneira, no panorama geral do setor de transporte, esta atividade fonte de emissão representa uma parcela ínfima em termos de contribuição para as emissões de GEE.

Destaca-se que, apesar de ser relevante, o modal hidroviário é alvo de críticas constantes por parte de seus usuários - sobretudo aqueles que residem fora das regiões mais centrais da capital do Pará (Estadão, 2022). Tal situação foi endossada por Dias et al. (2018), que argumentaram que a rede hidrográfica de Belém é subutilizada e pouco integrada - sobretudo com os bairros periféricos. Por outro lado, é importante ressaltar que a Prefeitura de Belém, por meio da Secretaria de Mobilidade, apresentou um novo projeto para expansão da rede. A proposta é requalificar os 6 terminais existentes e implantar 4 novos portos para transporte hidroviário (Agência Belém, 2022).

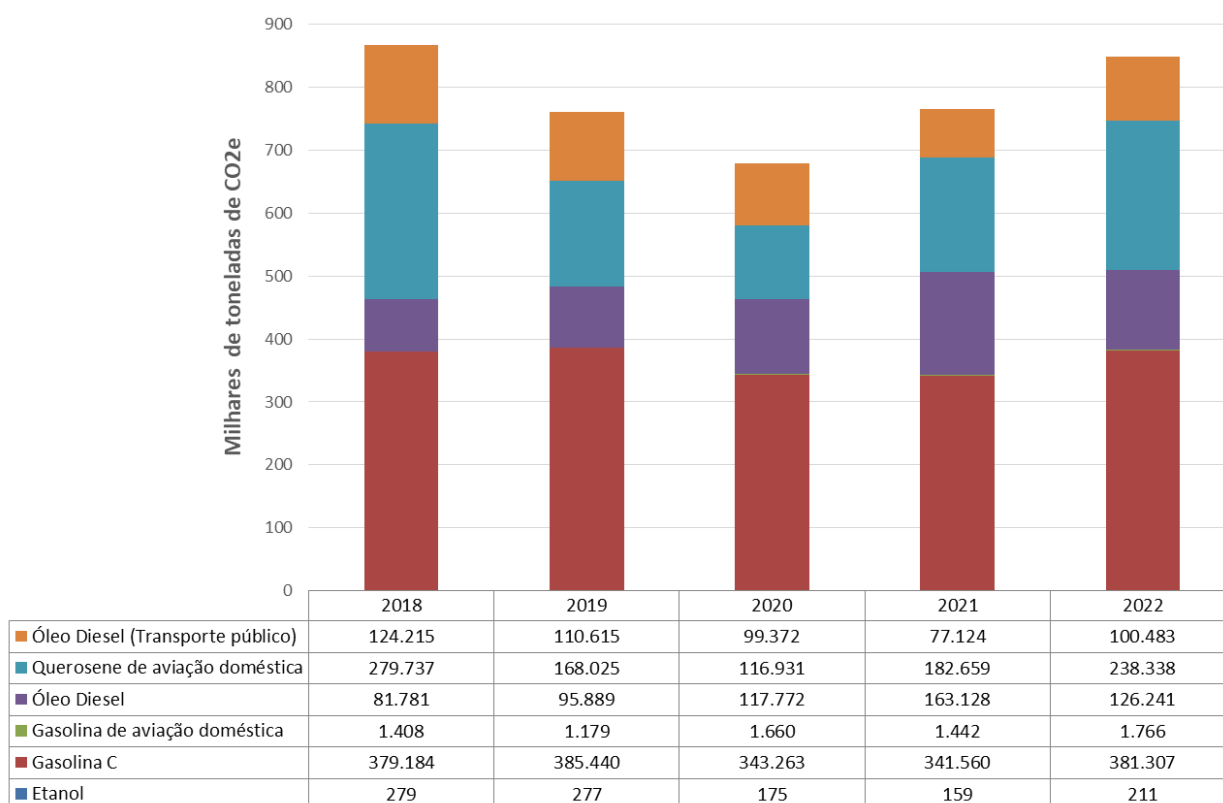
4.2.1 Emissões por tipo de combustível

A queima de combustíveis fósseis em fontes móveis é bastante relevante sob o ponto de vista das emissões de GEE. Assim, o objetivo deste subtópico é trazer à luz uma análise das emissões do setor de Transportes em Belém do Pará a partir da desagregação por tipo de combustível. De forma geral,

com exceção do óleo diesel, a trajetória das emissões causadas pela queima de combustíveis fósseis em Belém do Pará apresenta um comportamento de redução no meio da série histórica, no qual 2020 - início da pandemia de COVID-19 - foi o ano de menor comercialização, e 2018 e 2022 - as extremidades dentre os anos aqui analisados - apresentaram maiores contribuições.

A gasolina tipo C configura como o principal combustível emissor (mais de 45% do total observado), seguido pelo querosene para fins de voo doméstico (cerca de 25%) e o óleo diesel utilizado para o transporte público, com cerca de 15%. As emissões do consumo de gasolina C e de querosene destinado à aviação doméstica apresentaram considerável redução entre 2018 e 2020, com emissões equivalentes a 343 mil e 116 mil tCO₂e em 2020, respectivamente. Tal comportamento pode estar diretamente relacionado com o período de isolamento social imposto pela pandemia. Na Figura 19, tais padrões podem ser observados. Destaca-se que as emissões de etanol se mostram pouco significativas em toda a série, isso ocorre porque as emissões de CO₂ oriundas do consumo de biocombustíveis são consideradas biogênicas, ou seja, emissões neutras que não contribuem para a intensificação do efeito estufa, visto que considera todo o ciclo de vida do carbono.

Figura 19. Evolução das emissões por queima de combustíveis fósseis no setor de transportes.



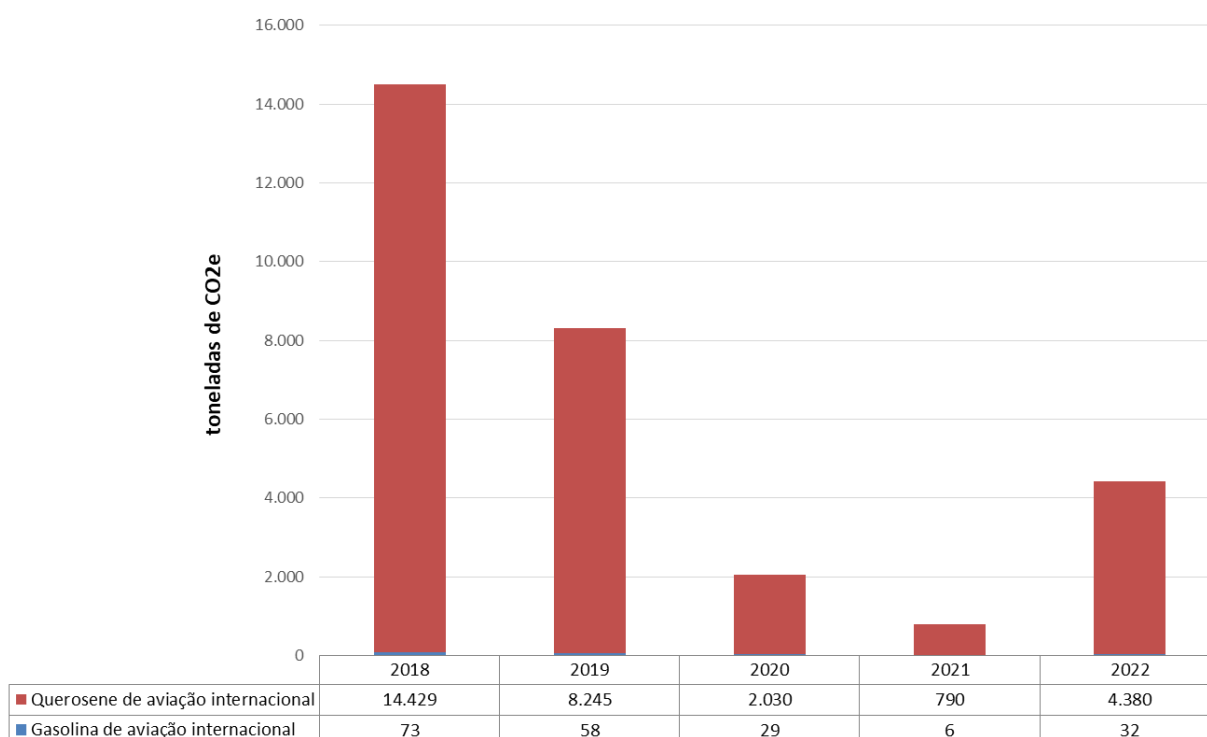
Fonte: Elaboração própria, 2023.

4.2.2 Emissões de escopo 3 no setor de transportes ou *Bunker*

Emissões de escopo 3 são aquelas relacionadas com atividades que ocorrem fora do limite da cidade, mas que apresentam forte correlação com atividades que ocorrem dentro da fronteira do inventário, e nesse caso, a contabilização é feita à parte. No caso de Belém do Pará, foram reportadas emissões referentes a voos internacionais a partir da estimativa baseada no consumo de querosene e gasolina de aviação. Não foram considerados dados de transporte marítimo internacional.

Entre os anos de 2018 e 2022, observou-se uma trajetória decrescente nas emissões, passando de 14,5 mil tCO₂e em 2018 para 4,4 mil tCO₂e no ano de 2022. Ao longo desse período, o ano de 2021 destacou-se com a menor taxa de emissão do período analisado, totalizando uma emissão equivalente à 796 tCO₂e. Nota-se que as emissões relacionadas ao consumo de querosene para aviação internacional diminuíram em 94,5% entre 2018 e 2021, fator que pode explicar a significativa redução neste ano. No entanto, as viagens internacionais com destino a Belém apresentaram um aumento nas emissões em 2022 (82%), totalizando 4,4 mil tCO₂e. O panorama global desse comportamento pode ser visualizado na Figura 20.

Figura 20. Evolução das emissões de escopo 3 em aviação para os anos de 2018 a 2022.



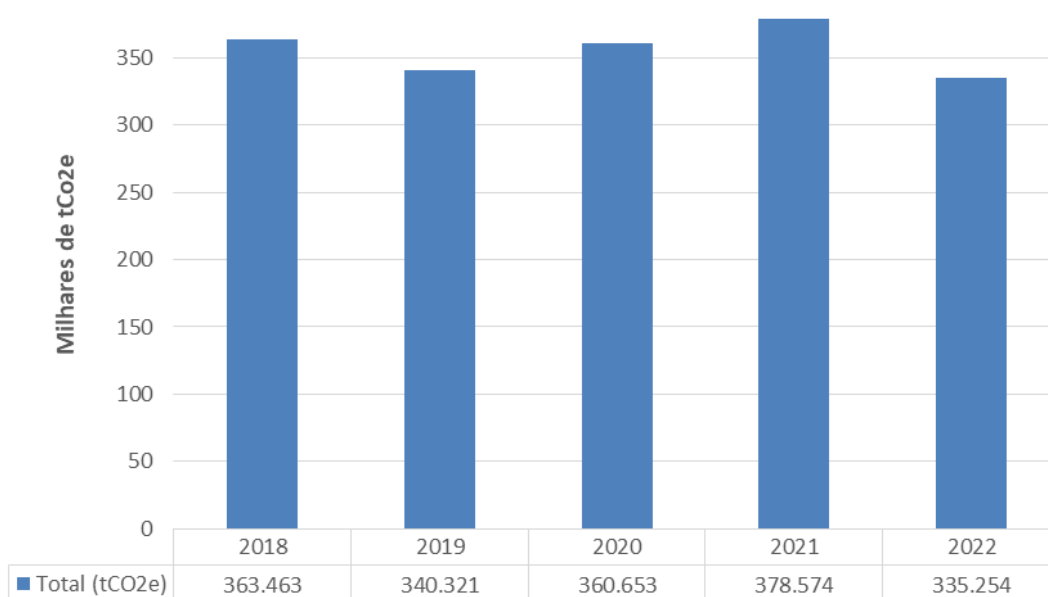
Fonte: Elaboração própria, 2023.

4.3 SETOR DE RESÍDUOS

O setor de resíduos, que contempla exclusivamente emissões pelo tratamento de resíduos sólidos e efluentes líquidos, engloba atividades fontes de emissão, tais como a disposição final de resíduos sólidos em aterros sanitários, controlados e lixões, o tratamento térmico não controlado pela queima de resíduos a céu aberto e o tratamento de efluentes líquidos domésticos e industriais.

A Figura 21 apresenta a evolução das emissões do setor de Resíduos (2018-2022). Observa-se uma redução entre os anos de 2018 e 2019, partindo do patamar de 363 mil tCO₂e para 340 mil tCO₂e. Em 2020 foi observado um aumento, chegando a 360 mil tCO₂e, já em 2021, ano em que se atingiu o pico de emissões, contribuição de 378 mil tCO₂e, comportamento relacionado principalmente ao aumento da disposição final de resíduos sólidos. Por fim, foi possível perceber uma nova redução em 2022, com a contribuição setorial de 335 mil tCO₂e, representando a menor emissão da série histórica.

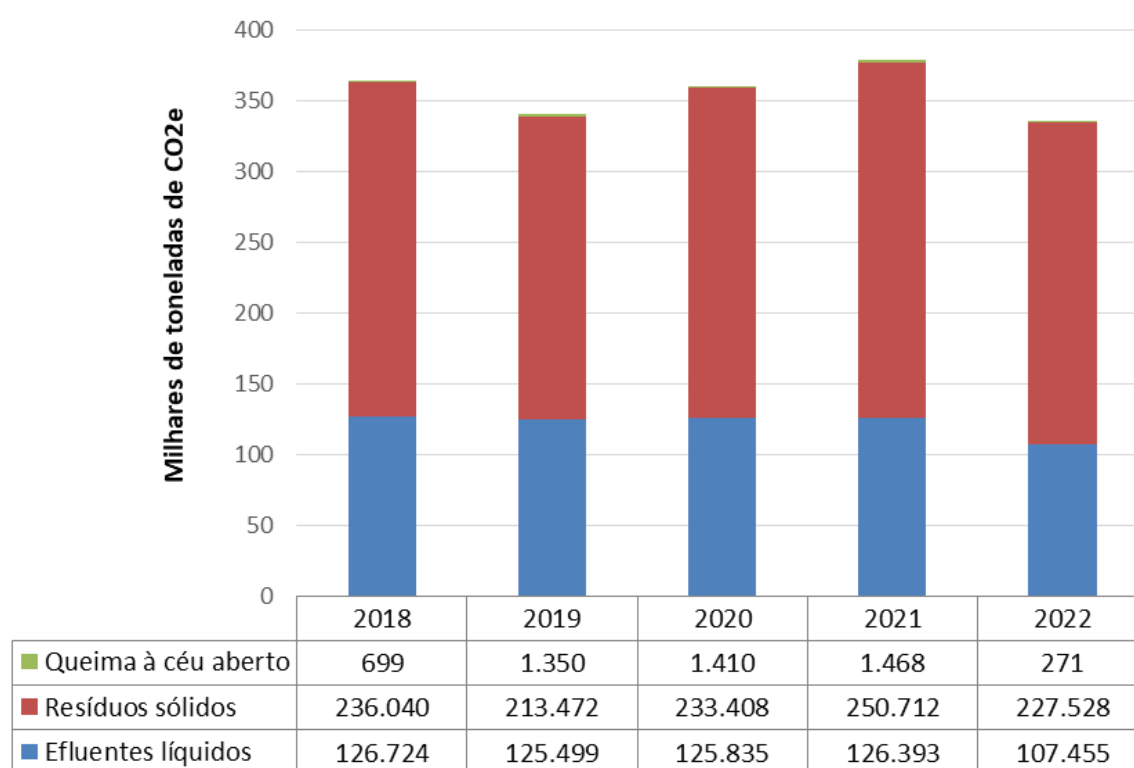
Figura 21. Evolução das emissões do setor de Resíduos em Belém de 2018 a 2022.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

Para o setor de Resíduos, a principal contribuição provém das emissões associadas à disposição final de sólidos em aterros sanitários, que representam, em média, 65,3% das emissões totais. Em seguida, temos as emissões provenientes do tratamento de efluentes líquidos domésticos e industriais, correspondendo a 34,4%, e a queima a céu aberto, responsável por menos de 1% das emissões, conforme pode ser observado na Figura 22.

Figura 22. Evolução das emissões de GEE para o setor de Resíduos de 2018 a 2022.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

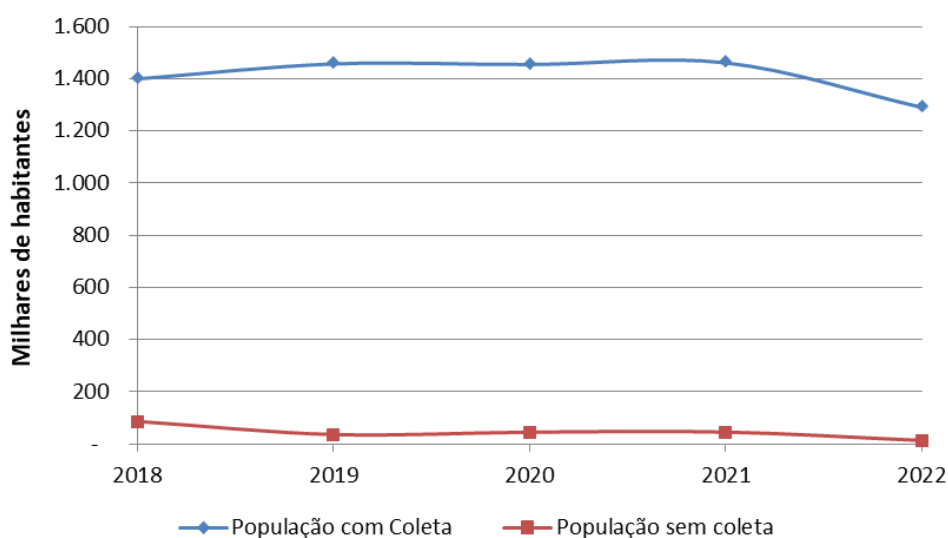
4.3.1 Disposição final de resíduos sólidos

Em Belém, a disposição final dos resíduos sólidos domiciliares coletados é feita fora dos limites do município, no aterro sanitário localizado no município de Marituba, uma das unidades operacionais do Centro de Tratamento e Processamento de Resíduos – CTPR Guamá, conforme informações do Plano Municipal de Saneamento Básico de Belém (PMSB/SESAN, 2020).

Para estimar as emissões, considerou-se o montante de resíduos domiciliares coletados dentro dos limites do município e dispostos fora dos limites do município, no aterro sanitário de Marituba, classificados como emissões de Escopo 3, bem como o volume de resíduos domiciliares não coletados dentro da fronteira do município, caracterizados como emissões de Escopo 1.

Quanto à fração da população que tem acesso à cobertura de coleta de resíduos, observa-se que Belém está avançando para a universalização desse serviço. Partindo de uma taxa de cobertura já bastante elevada em 2018, em que a coleta de resíduos domiciliares em Belém abrangia 95% da população, a taxa aumentou para 99% em 2020, conforme ilustrado na Figura 23. Isso implica que a maior parte das emissões é proveniente da disposição final fora dos limites da cidade.

Figura 23. População com e sem coleta de resíduos domiciliares no município de Belém.



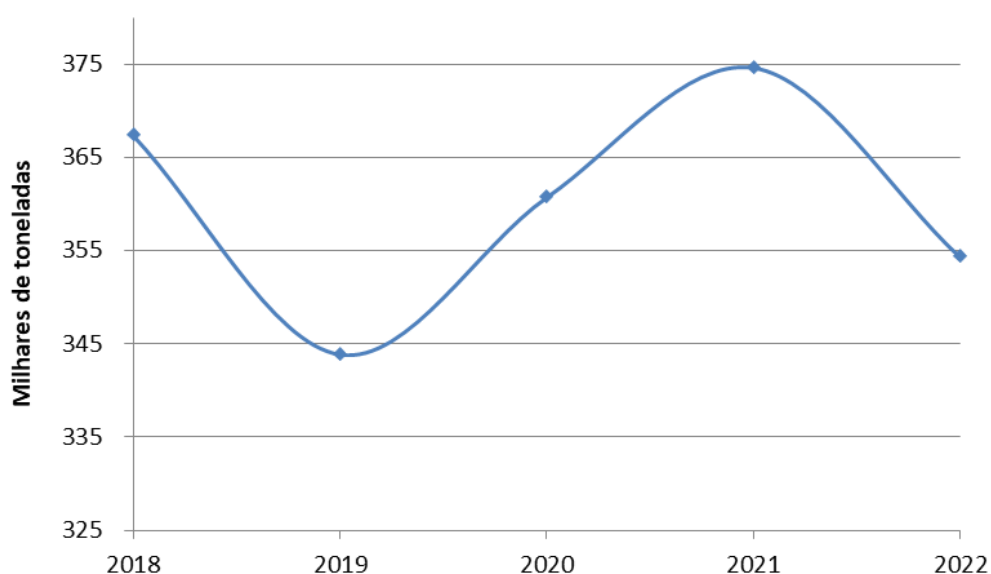
Fonte: Elaboração própria, 2023.

No que se refere à quantidade de resíduos coletada, observa-se em 2021 o ápice na geração de resíduos domiciliares, totalizando 374 mil toneladas, em comparação com a menor quantidade registrada em 2019, que foi de 343 mil toneladas. Esse aumento na geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) pode ser atribuído à pandemia de COVID-19, que provocou uma concentração significativa da geração de resíduos nos lares, substituindo o modelo descentralizado observado em estabelecimentos comerciais, escritórios e escolas anteriormente.

Durante a pandemia da Covid-19, a geração de resíduos sólidos urbanos nos domicílios brasileiros apresentou um aumento de aproximadamente 4%. Conforme indicado pela ABRELPE (Panorama 2021), a quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados atingiu 82,5 milhões de toneladas em 2020, resultando em uma média per capita brasileira de 1,07 kg/hab.dia. Esse panorama superou substancialmente o crescimento médio anual de 1% observado nos últimos cinco anos, destacando a influência das novas dinâmicas sociais, como a substituição do consumo em restaurantes por entregas.

Já em 2022, evidencia-se uma tendência de redução na geração de resíduos no município de Belém, indicando possíveis ajustes nas dinâmicas sociais. A evolução da quantidade de resíduos gerados no município pode ser observada na Figura 24.

Figura 24. Evolução da quantidade de resíduos domiciliares gerados em Belém de 2018 a 2022.



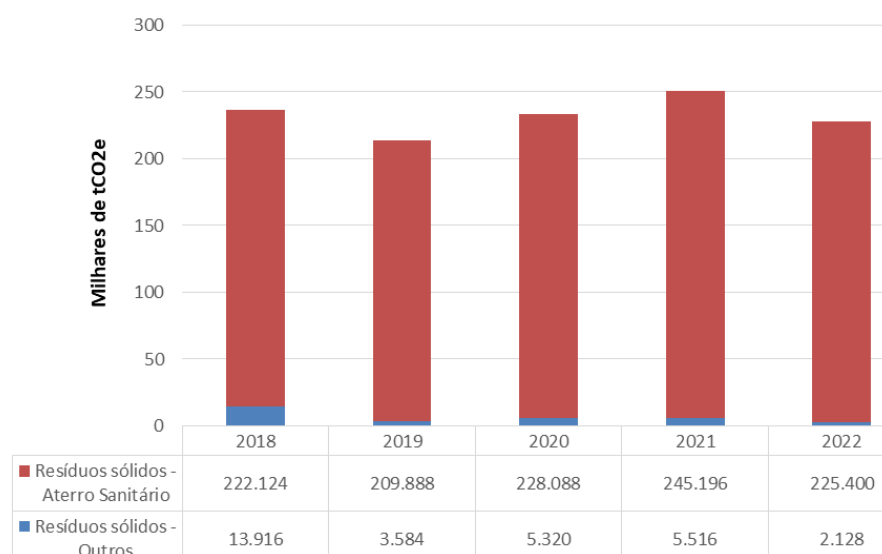
Fonte: Elaboração própria, 2023.

Outro parâmetro importante em relação às emissões pela disposição final é a recuperação do biogás gerado no aterro sanitário, seja para queima ou para aproveitamento energético. Estima-se pela *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC)⁶ que o município de Belém tenha a capacidade de recuperar e/ou queimar cerca de 7.689 toneladas de gás metano (CH₄) por ano.

Os resultados consolidados para a disposição de resíduos sólidos podem ser observados na Figura 25. Nota-se que o comportamento das emissões segue o mesmo padrão dos resíduos gerados no município. O ano de 2019 teve a menor emissão, totalizando 213 mil tCO₂e, enquanto o pico de emissões pode ser observado no ano de 2021, totalizando 250 mil tCO₂e. As estimativas foram contabilizadas pela abordagem do compromisso de metano, que se mostrou mais adequada para, junto à metodologia do GPC, estimar as emissões do município.

⁶ Informações sobre a recuperação de CH₄ no município aterro de Marituba podem ser obtidas na plataforma de mecanismo de desenvolvimento limpo de UNFCCC(<https://cdm.unfccc.int/Projects/DB/SGS-UKL1169639070.69/view#:~:text=Project%200888%20%3A%20Aur%C3%A1%20Landfill%20Gas%20Project>)

Figura 25. Evolução das emissões pela disposição final de resíduos sólidos em Belém de 2018 a 2022.

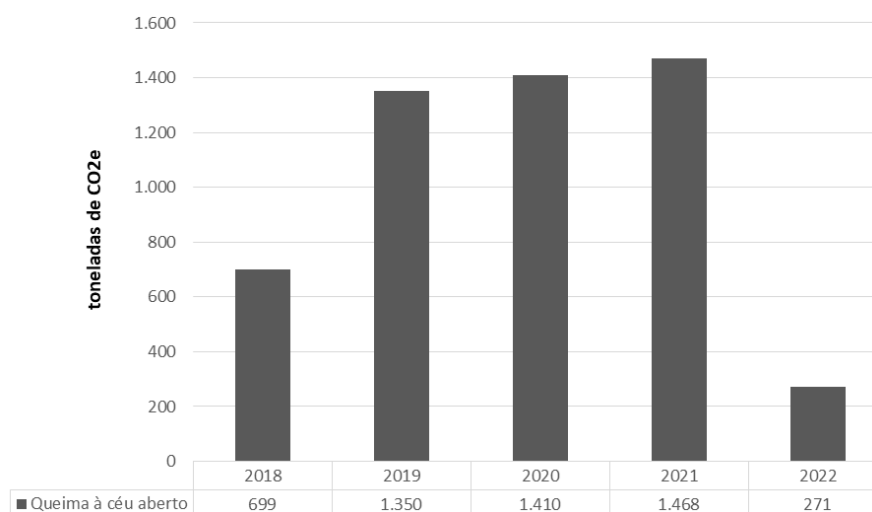


Fonte: Elaboração própria, 2023.

A prática da queima de resíduos a céu aberto é adotada, majoritariamente, pela parte da população que não possui acesso ao sistema de coleta de resíduos sólidos municipais. Essa prática envolve a combustão de materiais ao ar livre ou em lixões abertos. Notavelmente, essa prática é mais comum em áreas mais distantes das regiões urbanas, onde se encontra uma população economicamente desfavorecida e predominantemente rural.

No período entre 2018 e 2021, observa-se um aumento no perfil de queima a céu aberto, o que vai na contramão da busca pela universalização da coleta de resíduos sólidos do município. Apesar de, em termos absolutos, esse aumento não representar uma contribuição significativa para as emissões totais, isso pode estar associado à desaceleração econômica decorrente da pandemia e à recessão causada, em parte, pela crise política brasileira ocorrida durante o período analisado. Finalmente, em 2022, quando o município alcança uma taxa de coleta de resíduos de 99%, observa-se uma redução nas emissões causadas pela queima a céu aberto, conforme pode ser observado na Figura 26.

Figura 26. Evolução das emissões pela queima a céu aberto de resíduos sólidos em Belém

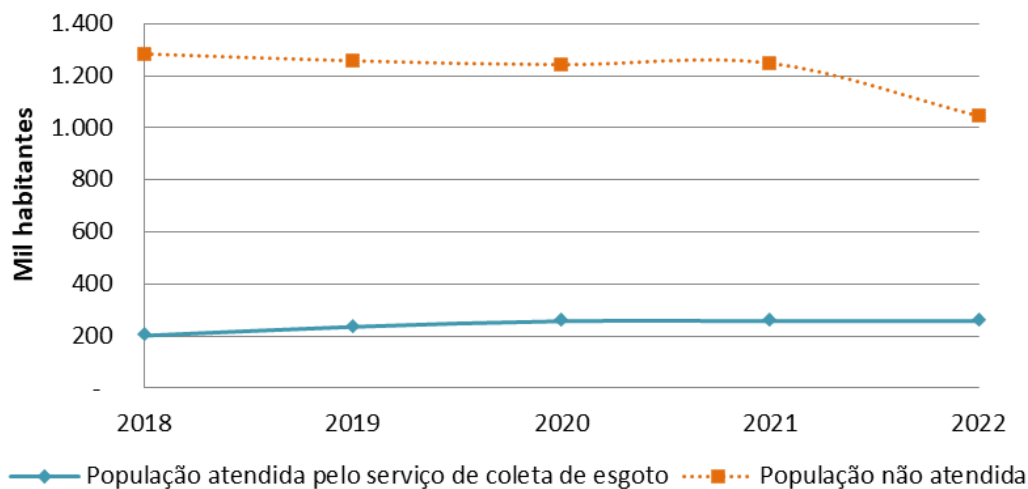


Fonte: Elaboração própria, 2023.

4.3.2 Disposição e Tratamento de Efluentes Líquidos

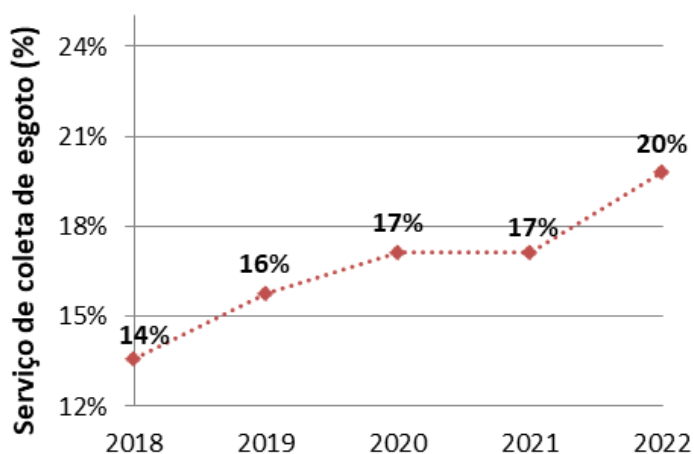
Em Belém, apenas 15,7% da população tem acesso ao serviço de coleta de esgoto, sendo que menos de 4% recebem tratamento adequado. Tal panorama favorece a colocação do município no penúltimo lugar no mais recente ranking de saneamento básico elaborado pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária (ABES, 2021), bem como sua posição desfavorável, ocupando o 96º lugar entre os 100 municípios avaliados pelo ranking de caráter semelhante elaborado pelo Instituto Trata Brasil (TRATA BRASIL, 2022). Ao contrário da coleta de resíduos sólidos, o acesso ao serviço de coleta de efluentes ainda é incipiente no município. A Figura 27 apresenta a fração da população com ou sem acesso a esse tipo de serviço, enquanto a Figura 28 mostra a evolução da população atendida.

Figura 27. População com e sem acesso ao serviço de coleta de esgoto.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

Figura 28. Evolução da população com acesso ao serviço de coleta de esgoto.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

As emissões provenientes do tratamento de efluentes líquidos abrangem tanto os efluentes domésticos quanto os industriais, considerando os processos de tratamento e disposição. Durante o processo de elaboração do inventário, a Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA) forneceu dados relativos ao volume anual global de efluentes coletados, bem como à parcela da população atendida pelo serviço de coleta. As especificações sobre os métodos de tratamento foram retiradas do Plano Municipal de Saneamento Básico de Belém - Volume III (2020).

As estações de tratamento de esgoto em Belém foram concebidas seguindo uma lógica de descentralização do tratamento dos esgotos coletados. Atualmente, o sistema possui dezesseis estações, das quais apenas nove estão em operação. A tecnologia de tratamento predominante na cidade é o uso de reatores UASB, uma técnica anaeróbia amplamente aplicada no país, acompanhada por um sistema de tratamento preliminar composto por gradeamento e desarenador, seguido por lagoas de estabilização aerada.

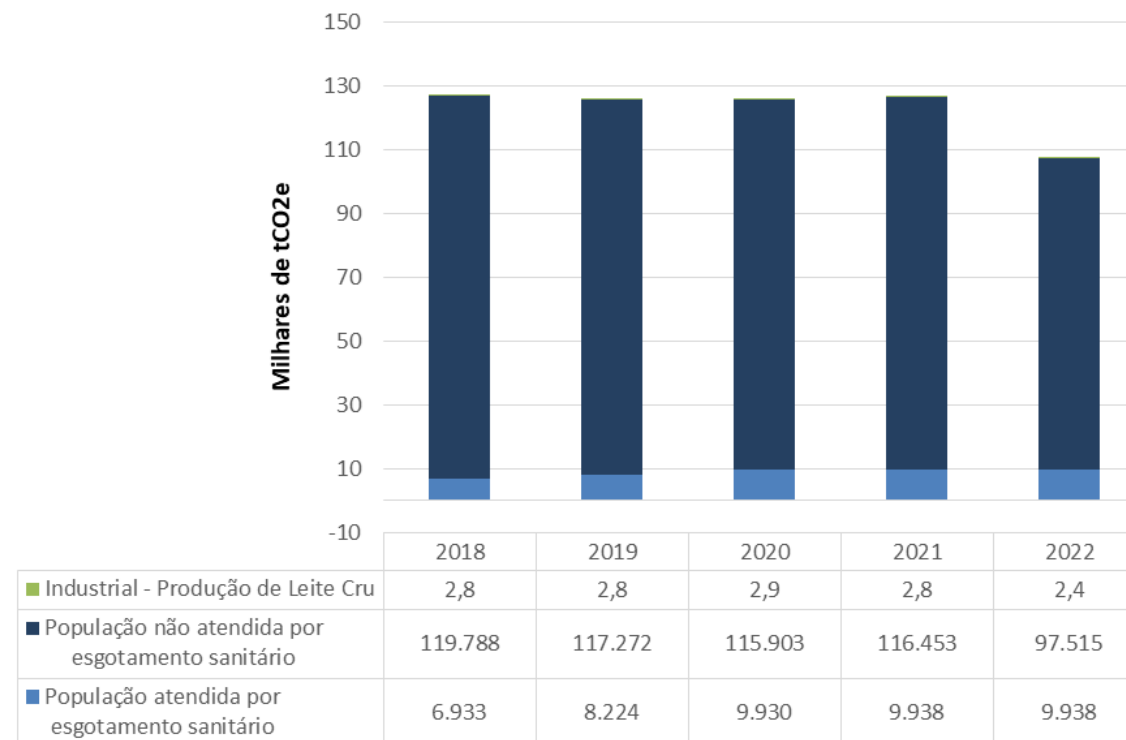
A metodologia de cálculo para as estimativas seguiu as diretrizes do IV Inventário Nacional (MCTI, 2020). Devido à falta de informações específicas sobre a população não coberta pelo serviço de coleta, optou-se por adotar um fator de emissão conservador, utilizando a categoria "outros" do inventário nacional como referência, abordagem que visa não subestimar as emissões pela fração da população que não recebe cobertura pelos serviços de coleta.

Em termos de emissões, o tratamento de efluentes domésticos apresentou um padrão estável, com uma pequena redução, de emissões de 2018, com 126,7 mil tCO₂e, até 2021, quando registrou 126,4 mil tCO₂e. Já o ano de 2022 revelou uma redução de aproximadamente 15%, resultando em emissões totais de 107,4 mil tCO₂e. Este declínio pode ser atribuído ao aumento da parcela da população com

acesso à coleta de efluentes líquidos domésticos. Outro ponto que influenciou nessa redução foi a nova medição do Censo IBGE (2022), na qual houve um declínio na população do município de Belém, seguindo o mesmo padrão de redução para a população de todo o país. A dinâmica das emissões no contexto do tratamento e afastamento de efluentes líquidos do município ao longo do período inventariado pode ser visualizada na Figura 29.

Além das emissões pelo esgotamento sanitário, também foram computadas emissões pelo tratamento de efluentes líquidos industriais, referentes à produção de leite cru, obtidas a partir de dados da produção de origem animal (SIDRA/IBGE), por tipo de produto. Destaca-se que essa atividade tem uma contribuição pouco significativa, representando menos de 0,1% das emissões do subsetor.

Figura 29. Evolução das emissões pelo tratamento e afastamento de efluentes líquidos.

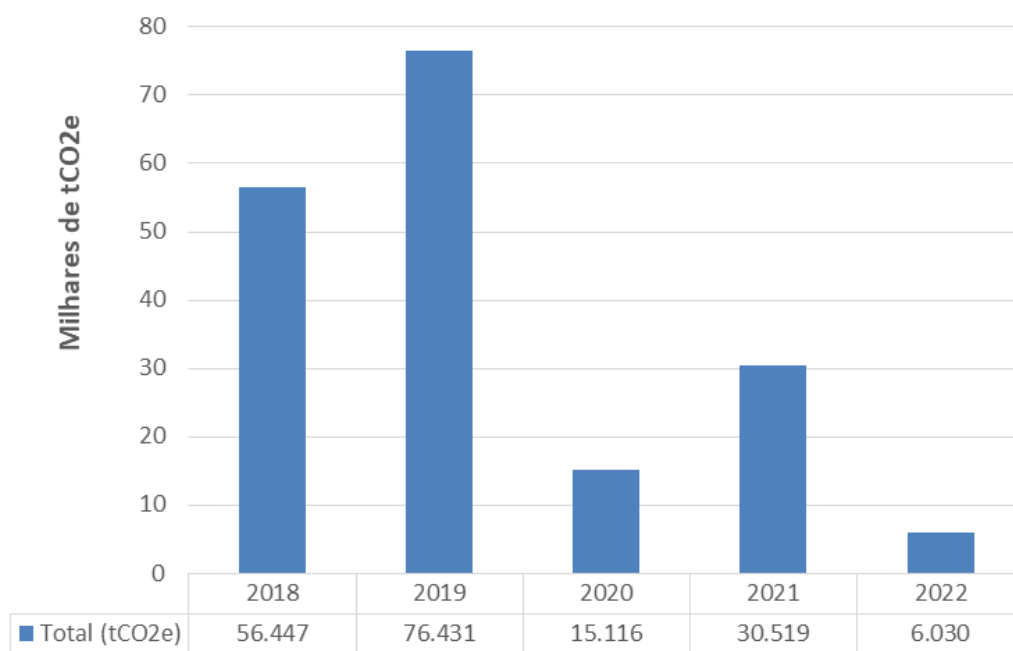


Fonte: Elaboração própria, 2023.

4.4 SETOR AFOLU

As emissões de AFOLU em Belém são provenientes de uma ampla gama de atividades, como mudanças no uso da terra, produção de metano associada aos processos digestivos de animais ruminantes da pecuária (fermentação entérica), manejo de dejetos de animais e manejo de nutrientes para fins agrícolas, entre outras. Destaca-se que, no contexto de Belém, também foi considerada a queima de resíduos na produção do açaí, devido à expressividade e relevância desse cultivo em termos culturais e econômicos. A Figura 30 ilustra os resultados gerais obtidos para o setor.

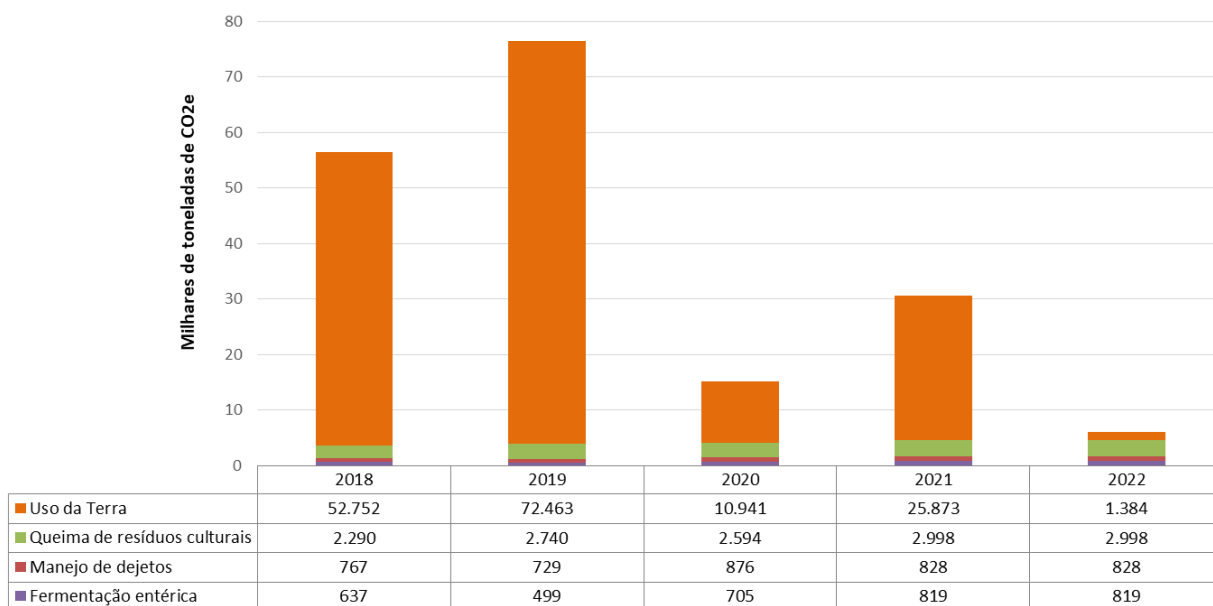
Figura 30. Resultados gerais do setor de AFOLU.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

No caso de Belém do Pará, o setor contribui, em média, com cerca de 3% das emissões totais ao longo da série analisada, característica coerente com o contexto urbano do município. Desse total, cerca de 93% das emissões são oriundas das transições do uso e cobertura da terra no ano de 2018, representando aproximadamente 52 mil tCO₂e. No ano seguinte, 2019, foi o pico de emissões do setor, também devido à alta influência do desmatamento, totalizando cerca de 76 mil tCO₂e, em que cerca de 95% das emissões são oriundas das transições do uso e cobertura da terra. O intervalo entre 2020 e 2022 foi marcado por uma forte redução das emissões do setor, principalmente no que tange às emissões que são oriundas das transições do uso e cobertura da terra. Nesse período as emissões do setor se mostraram pouco expressivas, devido à redução das áreas desmatadas. A Figura 31 ilustra o cenário de emissões do setor de AFOLU por principais atividades fontes de emissão.

Figura 31. Evolução das emissões de GEE para o setor de AFOLU de 2018 a 2022.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

É importante destacar o contraste entre Belém, como um município consolidadamente urbanizado, e o Estado do Pará, no que diz respeito às emissões relacionadas às mudanças de uso da terra. Segundo o Sistema de Estimativa e Remoções de GEE - SEEG (2022), o Pará é, de maneira ininterrupta, o principal emissor de CO₂e no Brasil desde 2006. Nos anos cobertos pela iniciativa (1985-2022), o estado foi o principal emissor em vários outros momentos, devido à expansão da fronteira agrícola⁷, com São Félix do Xingu e Altamira sendo grandes expoentes no cenário nacional. Para exemplificar, em 2019, São Félix do Xingu emitiu mais de 24 Mt CO₂e em decorrência das mudanças de uso da terra para esses fins, enquanto Altamira foi responsável por mais de 33Mt CO₂e no mesmo ano de referência.

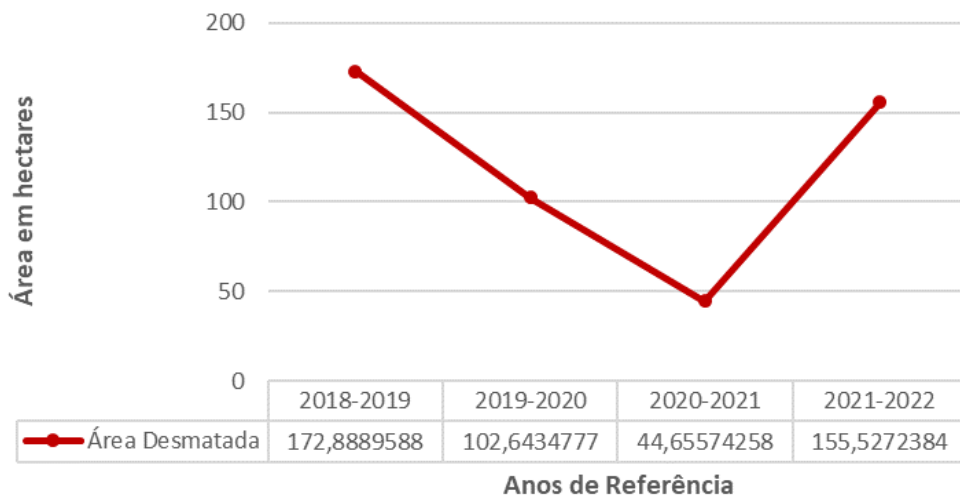
As outras fontes emissoras - queima de resíduos da produção do açaí e geração de gases relacionada à pecuária - são pouco expressivas no contexto de Belém. As cerca de 550 toneladas de resíduos, por exemplo, foram responsáveis, em média, por 2,7 mil tCO₂e. No caso das aves no município, da população de cerca de 155 mil cabeças, estima-se uma emissão associada de cerca de 126 tCO₂e.

Para abordar a questão do desmatamento no bioma amazônico, a Figura 33 ilustra as áreas perdidas de cobertura florestal no município de Belém durante o intervalo temporal deste documento. Observa-se que, entre 2018 e 2021, a capital apresentou uma trajetória de declínio na perda de vegetação arbórea para outros tipos de uso e cobertura da terra. Entre 2018 e 2019, pico do desmatamento no

⁷ Neste contexto, a expansão das atividades de agropecuária se dá a partir do desflorestamento.

período analisado no Inventário, a cidade perdeu cerca de 170 ha, dos quais mais de 137 ha converteram-se em pastagens. Nos anos seguintes, a expansão das áreas de pastagem correspondeu a 87,3 ha (2019-2020), 20,9 ha (2020-2021), e 76,9 ha (2021-2022). Tais quantitativos correspondem a 85%, 47%, e 49% das áreas totais desmatadas, respectivamente.

Figura 32. Área de floresta amazônica desmatada dentro do intervalo do Inventário.

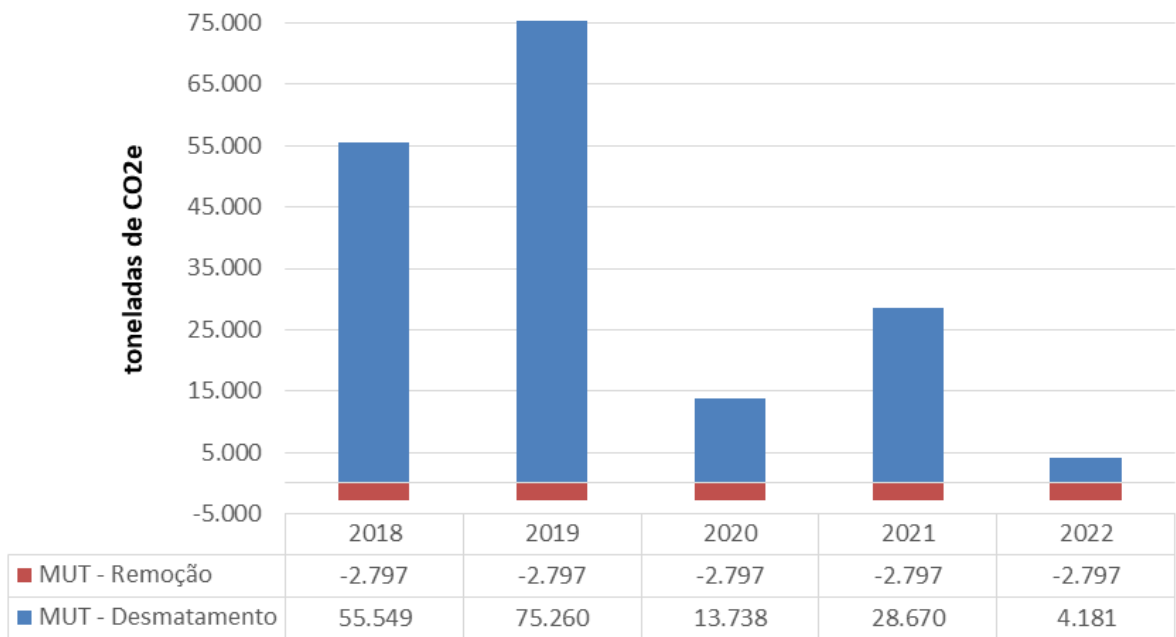


Fonte: Elaboração própria a partir de MapBiomass, 2023.

No que diz respeito à remoção de GEE por áreas protegidas, é importante ressaltar que Belém possui poucas áreas sob tutela no que diz respeito à conservação. Assim, das áreas identificadas como parque municipais - Bosque Rodrigues Alves (Jardim Zoobotânico da Amazônia), Parque Ecológico Municipal Gunnar Vingren e Parque Municipal da Ilha de Mosqueiro - estima-se uma remoção anual de CO₂ de aproximadamente 440 tCO₂e. A cidade de Belém também possui uma Unidade de Conservação (UC) Estadual localizada no centro da cidade, o Parque Utinga, com cerca de 1.340 hectares, para essa UC estimasse uma remoção anual de CO₂ de aproximadamente 2.358 tCO₂e.

Embora as emissões relacionadas às mudanças de uso da terra no município não sejam tão significativas quando comparadas ao cenário estadual ou mesmo ao setor de maior contribuição nas emissões locais - Transportes -, é nítida a desproporção entre o balanço de emissões e remoções em Belém. A Figura 32 traz a estimativa de emissões e remoções dentro deste contexto.

Figura 33. Estimativa de emissões por desmatamento e de remoções por áreas conservadas.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

5. APRIMORAMENTOS E POSSÍVEIS MELHORIAS

Este capítulo visa destacar questões identificadas durante o desenvolvimento do IEGEE de Belém do Pará, abordando tanto as fragilidades quanto as potencialidades para futuros trabalhos. Serão apresentados pontos que abrangem o IEGEE de maneira geral, além de considerações específicas para cada setor de emissão, detalhando as questões observadas.

Dentre as recomendações e oportunidades gerais de melhoria, destacam-se os seguintes pontos:

- **Sistematização dos dados:** É fundamental estabelecer procedimentos anuais de coleta das informações necessárias para o IEGEE, além de sistematizar os dados em bancos de dados da Prefeitura;
- **Aquisição de dados:** Deve-se produzir dados localmente precisos, utilizando técnicas diversas (por exemplo, satélite, estações meteorológicas) para informações como transição de uso e cobertura da terra, ocupação do solo urbano, temperatura do ar, localização de equipamentos, etc. Garantindo a coleta, organização, atualização e eficaz disponibilização de dados;
- **Divulgação pública dos dados:** É necessário promover a transparência e a participação pública, disponibilizando dados essenciais para o IEGEE e outras iniciativas ambientais e urbanas, incentivando o uso de informações públicas em estudos dessa natureza;
- **Fomento da responsabilidade compartilhada do grupo de trabalho (GT):** Recomenda-se estabelecer uma cultura interna de responsabilidade e colaboração, incentivando o GT a se envolver ativamente na redução das emissões e na implementação de estratégias para alcançar as metas climáticas;
- **Fortalecimento da governança climática da cidade:** Deve-se consolidar estruturas e processos de governança dedicados às questões climáticas, promovendo a coordenação efetiva entre diferentes setores municipais, como outras secretarias e autarquias públicas;
- **Capacitação continuada da equipe gestora:** Proporcionar treinamento contínuo para a equipe gestora, aprimorando suas habilidades na gestão eficiente de projetos climáticos e no uso de ferramentas analíticas, combinando conhecimento técnico e infraestrutura;
- **Intercâmbio técnico-científico com a academia:** É recomendável estabelecer parcerias com instituições acadêmicas para promover a troca de conhecimento, pesquisa e inovação na abordagem das questões relacionadas às emissões de GEE e às mudanças climáticas;
- **Consideração de uma abordagem metropolitana em detrimento de análises a nível municipal:** Ampliar a perspectiva dos projetos relacionados às agendas climática e da biodiversidade para uma abordagem metropolitana, reconhecendo a interconexão das áreas urbanas e promovendo estratégias coordenadas.

No que diz respeito às recomendações e oportunidades de melhoria por setor, destacam-se:

- **Transporte terrestre:** Recomenda-se conduzir uma análise detalhada do consumo de combustível no transporte público e realizar uma análise aprofundada das emissões de Escopo 3 no transporte terrestre;
- **Transporte hidroviário:** Coletar dados sobre o consumo de combustível de balsas e navios, considerando as emissões de Escopo 1 e 3, oferece uma visão detalhada das emissões marítimas em Belém. Isso ajuda a identificar oportunidades para reduzir emissões, contribuindo para metas ambientais mais ambiciosas. Destaca-se que, para o desenvolvimento do IEGEE, só conseguimos acessar informações de uma linha do sistema, um ponto que pode ser melhorado em futuros estudos com base nas sugestões mencionadas;
- **Monitoramento da remoção da vegetação nativa:** É fundamental criar um sistema eficiente de monitoramento usando dados de satélite para identificar rapidamente desmatamentos em áreas menores que 3 hectares. Essa abordagem tecnológica permitirá uma resposta ágil na preservação da vegetação nativa. Vale destacar que, durante o desenvolvimento do IEGEE, houve acesso a informações limitadas, o que é um ponto frágil a ser corrigido em futuros estudos com base nas sugestões mencionadas.

6. COMO BELÉM TEM ENFRENTADO AS MUDANÇAS DO CLIMA?

A agenda climática é uma pauta que apresenta forte sinergia com o planejamento urbano, em especial com medidas voltadas para a mobilidade urbana mais sustentável, saneamento, eficiência energética, gestão de áreas verdes e outras. Nesse contexto, entende-se que Belém já apresenta uma série de medidas que apresentam potencial de reduzir as emissões de GEE. Abaixo serão listadas algumas iniciativas já apresentadas pela cidade.

Projeto piloto de Eletrificação de Frota do Transporte Público Coletivo de Passageiros por Ônibus

A eletrificação da frota de transporte coletivo tem sido adotada em diversos países como uma das estratégias necessárias para estabelecer compromisso com o meio ambiente e com a mitigação das mudanças climáticas. Essa estratégia de transição energética no transporte público coletivo está presente em diversas cidades do mundo, tais como Shenzhen (China) e Bogotá (Colômbia), e tem proporcionado melhorias da qualidade ambiental e na prestação do serviço oferecido à população dessas cidades.

A partir dessa premissa, e considerando o impacto do transporte público coletivo de passageiros no percentual de emissões de GEE, especialmente, pela idade média dos veículos que circulam na capital, que, atualmente, é em torno de 8,5 anos, está sendo desenvolvido o projeto piloto de ônibus elétrico do município de Belém. Portanto, a substituição gradativa da frota municipal de transporte público coletivo, de ônibus a combustão para ônibus elétricos, representaria uma redução da emissão de 64.558,67 toneladas de CO₂ anualmente, visto que o transporte público do município é responsável pela emissão de aproximadamente 1,22 KgCO₂/Km.

Inicialmente, o projeto prevê a aquisição de 20 (vinte) ônibus elétricos, tipo Convencional, que deverão ser utilizados nas linhas que conectarão o Terminal Mangueirão, UFPA e Terminal São Brás. A infraestrutura de recarga será implantada nos Terminais Mangueirão e São Brás. O projeto também prevê a ampliação da frota para 100 (cem) ônibus elétricos que serão parte da rede integrada de transporte coletivo municipal, o que ampliará substancialmente o atendimento aos usuários.

Arborização

Com o objetivo de arborizar a cidade, algumas estratégias foram iniciadas, sendo elas:

- Diagnóstico de áreas verdes em todos os bairros de Belém e Distritos, possibilitando dados acerca da arborização nessas áreas.

- Inventário das áreas verdes, espaços denominados como praças, de Belém.
- Inventário de Arborização, trabalho iniciado através de Acordo de Cooperação Técnica -ACT firmado com a Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, tendo como objeto a caracterização da arborização urbana do município, sendo o produto final desse acordo a obtenção de dados referentes à quantidade, qualidade e as características da arborização urbana do Município de Belém, para a identificação das ilhas de calor presentes na cidade, bem como para execução de investimento em melhoria do conforto térmico através de planejamento adequado da arborização.

Os dados gerados por essa planificação são públicos e, com o apoio da Companhia de Informática de Belém S/A – CINBESA, estão disponibilizados no sítio eletrônico da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, em consonância com o Plano Municipal de Arborização Urbana, referente a Lei no 8.909, de 29 de março de 2012. Com os levantamentos acima, torna-se possível a geração de dados qualificados para apoiar o planejamento de ações de manutenção e de execução de plantio, ambos para acelerar a reintegração da natureza na cidade de Belém, mudando a cultura centrada na infraestrutura cinza, aumentando a integração entre setores e instrumentos municipais, e promovendo o engajamento comunitário e projetos locais, por fim, implementando pilotos e ações de curto prazo para começar.

Também para otimizar a manutenção da arborização municipal, Acordos de Cooperação Técnica foram firmados com as empresas de energia EQUATORIAL PARÁ DISTRIBUIDORA DE ENERGIA SA e LUZ DE BELÉM SPE AS. Já a arborização, é executada por equipes da própria secretaria. Com intuito de intensificar a mesma, foi fechada parceria com Exército Brasileiro para que a partir do mês de dezembro de 2023, militares desta força, também executem projeto de arborização de vias, conjuntos residenciais populares e escolas municipais.

Vale ressaltar que os projetos de paisagismo e arborização buscam indicar espécies nativas que possuem maior desempenho no que tange a captação de CO₂, interferindo de forma incisiva também no combate a emissão de GEE. Aduzindo ainda que todas as mudas são produzidas pelo próprio município, no viveiro da Secretaria denominado Granja Modelo.

Criação de Unidades de Conservação

Considerando que o município Belém tem elevado potencial para a criação de diversas Unidades de Conservação, e que a preservação dessas áreas de floresta nativa primária proporcionam fragmentos da floresta na cidade, foram firmados dois acordos de suma importância para que entre outras ações possam subsidiar os estudos técnicos necessários para avaliação dos processos de submissão. Tais

acordos são com o Parque Zoológico Museu Paraense Emílio Goeldi e com o Programa de pós-graduação e biodiversidade e biotecnologia – REDE BIONORTE, sediado na Universidade Federal do Pará.

Ressaltando que a estruturação dessas unidades também é preocupação da gestão, e com esse fim na Semana do Clima das Américas e Caribe 2023, foi lançado o projeto Nature-Based Cities, financiado pelo Global Eba Fund, liderado pela União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN) e pelo Programa das Nações Unidas para Meio Ambiente (UNEP). O fundo é um mecanismo de apoio a abordagens inovadoras. Todas essas medidas demonstram que a natureza pode fazer parte de ações de adaptação urbana no caminho de resiliência das cidades, já que plantio de vegetação nativa favorece a biodiversidade, e também nos permite criar florestas urbanas e espaços verdes para reduzir as ondas de calor, pois as árvores e outras plantas resfriam o ambiente ao redor, oferecendo sombra e liberando água por meio de suas folhas.

Economia circular e bioeconomia

A SEMMA firmou Acordo de Cooperação Técnica – ACT com a empresa Descarte Correto, que implica diretamente na redução do lixo eletrônico descartado em vias públicas e aterro sanitário, através de ações previamente planejadas de coleta desses resíduos, que visa além de promover a conscientização sobre a importância do descarte adequado de resíduos eletrônicos e eletrodomésticos, permite após processo de logística reversa, a destinação de computadores à sociedade civil.

“Construindo Cidades Resilientes 2030” – MCR2030

O município de Belém se comprometeu a aplicar os dez princípios para construir cidades resilientes, a realizar a avaliação de etapa do roteiro para a resiliência da iniciativa MCR2023, e agir conforme os objetivos/atividades definidos em cada etapa, de acordo com o resultado obtido pelo município. O foco da iniciativa é promover a redução de riscos e desastres – UNDRR/ONU.

Parceria com a Organização Internacional para as Migrações (OIM)

Projeto que visa fortalecer a capacidade do município, para responder aos desafios gerados pela relação entre migração interna, meio ambiente e mudança do clima, produzindo novas evidências, realizando capacitações e promovendo a troca de experiências entre os municípios. A cidade compreende que a gestão de riscos de desastres e o fortalecimento da governança para a gestão desses riscos são prioridades na adaptação, mitigação e promoção da resiliência.

7. CONCLUSÕES

Belém do Pará emitiu 1,68 MtCO₂e em 2018, com uma redução de 16% até 2020, marcando o ano de menor contribuição. Em 2021, as emissões aumentaram, atingindo 1,7 MtCO₂e. Posteriormente, observou-se uma nova redução de 12% em 2022, o segundo ano de menor contribuição. Muitos fatores podem explicar esse comportamento, sendo destacadas a recessão iniciada por crises políticas e aprofundada pela pandemia da COVID-19, resultando na desaceleração da economia municipal e no consumo da população. Outros fatores incluem oscilações nos índices de emissão do Sistema Interligado Nacional (SIN) e o decréscimo populacional registrado no Censo de 2022.

Ao longo da série analisada, o setor de transportes se manteve como o principal emissor, com ênfase no consumo de gasolina no transporte privado. O segundo setor de maior contribuição foi o de energia estacionária, destacando-se o consumo de combustíveis e energia elétrica em residências. O setor de resíduos também se configurou como uma importante fonte de emissões, especialmente devido à disposição de resíduos sólidos no aterro sanitário de Marituba e ao tratamento de efluentes domésticos da fração da população sem acesso aos serviços de saneamento. No que diz respeito à Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra (AFOLU), embora tenha tido uma baixa contribuição ao longo do período analisado, observa-se uma significativa emissão relacionada ao desmatamento. Entretanto, nos últimos anos, essa atividade deixou de ser uma fonte relevante de emissões.

Belém demonstra um comprometimento contínuo com sua jornada climática, especialmente após ser oficializada como sede da COP 30. O governo local já promove iniciativas sustentáveis em diversos setores, e o inventário surge como uma ferramenta essencial para monitorar impactos e estabelecer estratégias de mitigação.

O inventário representa um passo crucial para o fortalecimento das políticas municipais de enfrentamento às mudanças climáticas, reconhecendo a importância da ação local e seu impacto global. Nesse sentido, a capital paraense lidera esforços transformadores visando assegurar um futuro sustentável para as gerações presentes e futuras, tanto em seu território quanto na região amazônica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA BELÉM, 2022. **Semob apresenta no X Fospa projetos de corredor fluvial, malha cicloviária e licitação do transporte por ônibus**. Disponível em <<https://agenciabelem.com.br/Noticia/226747/semob-apresenta-no-x-fospa-projetos-corredor-fluvial-malha-cicloviaria-e-licitacao-do-transporte-por-onibus>> acessado em novembro de 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - ABES. **Ranking do Saneamento de 2021**. Disponível em <<https://abes-dn.org.br/ranking-do-saneamento-2021/>> acessado em novembro de 2023.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Boletim Regional do Banco Central do Brasil - **Economia Paraense: estrutura produtiva e desempenho recente** (2013). Disponível em <<https://www.bcb.gov.br/pec/boletimregional/port/2013/07/br201307b2p.pdf>> acessado em dezembro de 2023.

BELÉM. **Lei nº 9.656, de 30 de dezembro de 2020**. Institui a Política Municipal de Saneamento Básico do Município de Belém, o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), e o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS), em atenção ao disposto no Art. 9º da Lei Federal nº 11.445/2007, com as atualizações trazidas pela Lei nº 14.026/2020, o Novo Marco do Saneamento Básico, e dá outras providências.

COORDENAÇÃO DE COMUNICAÇÃO SOCIAL - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS. CCC2, 2021. **Estudo analisa aumento do consumo residencial de energia durante a pandemia**. Disponível em: <<https://ccs2.ufpel.edu.br/wp/2021/04/07/estudo-analisa-aumento-do-consumo-residencial-de-energia-durante-a-pandemia/>>. Acesso em: 04 ago. 2023.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO, 2022. **Anuário Estatístico de Tráfego Aéreo**. Disponível <http://portal.cgna.decea.mil.br/files/uploads/anuario_estatistico/anuario_estatistico_2022.pdf> acessado em novembro de 2023.

DIAS, M. PEREIRA, A. FERNANDES, I. MONTEIRO, K. FERREIRA, R. **O transporte hidroviário urbano de passageiros em Belém e os fatores relevantes para sua implementação**. XXXII ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Gramado, Rio Grande do Sul. Disponível em <https://www.anpet.org.br/anais32/documentos/2018/Aspectos%20Economicos%20Sociais%20Politicos%20e%20Ambientais%20do%20Transporte/Politicos%20Publicas%20e%20Transporte%20I/5_337_AC.pdf> acessado em novembro de 2023.

ESTADÃO EXPRESSO, 2022. **Na periferia de Belém, o transporte fluvial é desafio para moradores**. Disponível em <<https://expresso.estadao.com.br/naperifa/na-periferia-de-belem-o-transporte-fluvial-e-desafio-para-moradores/>> acessado em novembro de 2023.

FGV - BLOG DO IBRE, 2023. **Tendências do home office no Brasil**. Disponível em: <<https://blogdoibre.fgv.br/posts/tendencias-do-home-office-no-brasil>>. Acesso em: 04 ago. 2023.

FGV. NOTA TÉCNICA. **Classificação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) de Escopo 1 nas respectivas categorias de fontes de emissão – versão 2**. Disponível em: <http://mediadrawer.gvces.com.br/ghg/original/ghg-protocol_nota-tecnica_categorias-escopo-1_-v2.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA - IBGE, 2018. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2018>>. Acesso em: 28 abr. 2023.

IBGE, 2023a. **Panorama Cidades - Belém**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/belem/panorama>>. Acesso em: 04 ago. 2023.

IBGE, 2023b. **Censo Demográfico de 2022**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html?edicao=35938>>. Acesso em: 04 ago. 2023.

IBGE. SIDRA, 2023c. **Tabela 6579: População residente estimada**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6579>>. Acesso em: 25 jul. 2023.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE - IEMA, 2022. **Inventário de Emissões Atmosféricas em Usinas Termelétricas**: geração de eletricidade, emissões e lista de empresas proprietárias das termelétricas a combustíveis fósseis e de serviço público do Sistema Interligado Nacional (ano-base 2020). Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2022/07/IEMA_inventariotermeletricas_2022.pdf>. Acesso: 04 ago. 2023.

ÍNTEGRA, AGÊNCIA EXPERIMENTAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 2022. **Soluções para o problema dos esgotos em Belém-PA**. Disponível em <<https://www.ufsm.br/midias/experimental/integra/2022/02/15/solucoes-para-o-problema-dos-esgotos-em-belem-pa>> acessado em novembro de 2023.

ICLEI, GOVERNOS LOCAIS PELA SUSTENTABILIDADE, 2017. **Guia de Ação Local pelo Clima**. Disponível <<https://americadosul.iclei.org/wp-content/uploads/sites/78/2020/10/guideacaolocalpeloclima-iclei-pcs.pdf>> acessado em novembro de 2023.

IPCC, 2013. **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., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

IPCC, 2022. **Summary for Policymakers**. In: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.001.

MAPBIOMAS. **Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. Disponível em <<https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>> acessado em novembro de 2023.

MARGULIS, S. **Mudanças do Clima: tudo o que você queria e não queria saber**. Disponível em <<https://www.mudancasdoclima.com.br/>> acesso em novembro de 2023.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO - MCTI, 2020. **Quarto Inventário Brasileiro De Emissões E Remoções Antrópicas De Gases De Efeito Estufa - Setor de Resíduos**. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial/pdf/inventario4/rr_4cn_residuos_final_set2020.pdf>. Acesso em: 28 maio 2023.

MCTI, 2021. **Fator médio - Inventários corporativos**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/paginas/fator-medio-inventarios-corporativos>>. Acesso em: 04 ago. 2023.

MCTI, 2023. **Fatores de emissão médios de CO2 para energia elétrica**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>>. Acesso em: 25 jul. 2023.

MORAN, D. KANEMOTO, K. JIBORN, M. WOOD, R. TÖBBEN, J. SETO, K. Carbon footprints of 13.000 cities. **Environmental Research - Letters**. DOI: 10.1088/1748-9326/aac72a

ONU BRASIL. **O que são as mudanças climáticas?** Disponível em <<https://brasil.un.org/pt-br/175180-o-que>>

[s%C3%A3o-mudan%C3%A7as-clim%C3%A1ticas](#)> acessado em novembro de 2023.

OUR WORLD IN DATA (s.d). **Atmospheric Concentrations: How have global CO2 concentrations changed over time?** Disponível em <<https://ourworldindata.org/atmospheric-concentrations>> acessado em setembro de 2022.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS - PBMC, 2016. **Mudanças Climáticas e Cidades: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas** [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)]. PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 116p. ISBN: 978-85-285-0344-9.

REVISTA EXAME, 2023. **Pobreza energética: por que a queda no consumo de GLP no país importa.** Disponível em <<https://exame.com/exame-in/pobreza-energetica-por-que-a-queda-no-consumo-de-glp-no-pais-importa/>> acessado em novembro de 2023.

SISTEMA DE ESTIMA DE EMISSÃO DE GASES - Seeg. **Seeg Municípios - Estatísticas.** Disponível em <<https://plataforma.seeg.eco.br/cities/statistics>> acessado em novembro de 2023.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS. **Diagnóstico Anual de Resíduos Sólidos.** Disponível em: < <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-residuos-solidos>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

TRATABRASIL. **Ranking do Saneamento de 2022.** Disponível em <<https://tratabrasil.org.br/ranking-do-saneamento-2022/>> acessado em novembro de 2023.

WORLD RESOURCES INSTITUTE - WRI, 2014. **Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories.** Disponível em: <<https://www.wri.org/research/global-protocol-community-scale-greenhouse-gas-emission-inventories>>. Acesso em: 28 jun. 2023.

ANEXOS

ANEXO A. MAPEAMENTO DAS FONTES DE EMISSÃO E COLETA DE DADOS

A coleta de dados é frequentemente a fase mais desafiadora do processo de elaboração de IEGEEs. O tempo e os esforços dedicados à obtenção de dados aumentam à medida que a complexidade do inventário cresce.

O detalhamento, ou segregação de dados, é um elemento crucial a ser considerado. A partir de um nível adequado de segregação de dados, torna-se mais fácil selecionar os fatores de emissão necessários para os cálculos e categorizar as fontes de emissão para a análise dos dados. Nesse sentido, a etapa de coleta de dados do IEGEE de Belém priorizou informações alinhadas com os fatores de emissão disponíveis nos bancos de dados de referência nacionais e internacionais, tais como GHG Protocol 2018, IPCC 2019 e Ecoinvent.

A seguir, descrevem-se os procedimentos e referências utilizados para a coleta de dados, categorizados de acordo com as especificações do Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories (GPC).

A.1. ENERGIA ESTACIONÁRIA

A.1.1. Consumo de combustíveis

O cálculo das emissões provenientes deste subsetor foi realizado com base no volume ou massa do combustível por categoria (residencial, comercial, industrial, energia, rural e outros). Os dados referentes ao consumo de gás liquefeito de petróleo (GLP), óleo combustível e óleo diesel foram obtidos junto à Agência Nacional do Petróleo, segundo informações fornecidas pela Companhia de Gás do Pará.

Vale ressaltar que, para os anos inventariados (2018-2022), Belém não apresenta consumo de gás canalizado. Além disso, o inventário não contemplou o consumo de outros combustíveis fósseis, uma vez que as informações correspondentes não estavam disponíveis publicamente ou não estavam suficientemente segregadas para inclusão nos cálculos.

A.1.2. Consumo de energia elétrica e Perdas na T&D

O cálculo das emissões relacionadas ao consumo de energia elétrica é realizado com base no consumo de eletricidade em MWh, categorizado por tipo de atividade. Os dados de consumo de energia elétrica

no município foram fornecidos pela Equatorial Energia.

Para calcular as emissões decorrentes das perdas na Transmissão e Distribuição (T&D), é necessário aplicar o fator de perdas de energia elétrica ao consumo total de eletricidade. O fator de perdas na T&D utilizado foi fornecido pela Equatorial Energia para o estado do Pará, uma vez que a abertura por município não está disponível.

A.2. TRANSPORTE

A.2.1. Consumo de combustíveis para transporte

O cálculo das emissões relacionadas ao transporte é derivado da massa ou volume de combustível consumido, discriminado por tipo e modalidade de transporte. As informações acerca do consumo de gasolina, etanol, gasolina de aviação, querosene de aviação e diesel foram disponibilizadas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

Para a segregação dos dados relativos ao transporte público, a Secretaria de Mobilidade (SEMOB) forneceu as informações necessárias. No que se refere à segregação do consumo de combustível em viagens aéreas, os dados da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) foram utilizados, incluindo detalhes sobre as viagens, origens, destinos e consumo de combustível para viagens nacionais.

A.2.2. Consumo de energia elétrica

O cálculo das emissões provenientes do consumo de energia elétrica no setor de transporte baseia-se no consumo de eletricidade em MWh, categorizado por tipo de transporte. Esses valores foram deduzidos do total fornecido pela Equatorial Energia.

A.3. RESÍDUOS

A.3.1. Disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários

Os dados referentes à geração de resíduos sólidos urbanos e ao local de tratamento foram fornecidos pela SESAN. As informações acerca da composição gravimétrica foram extraídas do Plano Municipal de Saneamento Básico de Belém do Pará (2020).

Também foram levados em consideração os resíduos não coletados no município, obtidos por meio da

taxa de coleta de resíduos disponível no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Adicionalmente, foi considerada a fração da população que destina seus resíduos a outros locais, conforme dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD). As informações sobre a recuperação de biogás no aterro foram obtidas a partir dos dados fornecidos pela United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), provenientes dos projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo na cidade.

A.3.2. Tratamento de efluentes domésticos

Para o cálculo das emissões provenientes do tratamento de efluentes domésticos, são necessários os seguintes dados: número de habitantes, taxas da população atendida pela rede sanitária do município e taxas de efluentes coletados enviados para tratamento, utilizando processos anaeróbios. As informações referentes aos efluentes enviados pelos emissários submarinos, ao tratamento em Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) e à população não atendida foram fornecidas pela Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA).

A.3.3. Tratamento de efluentes líquidos industriais

As emissões relacionadas à produção de leite cru na cidade foram estimadas com base em dados obtidos na Pesquisa Trimestral do Leite, disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A.4. AGRICULTURA, FLORESTAS E USO DA TERRA (AFOLU)

A.4.1. Rebanhos

O dado de entrada necessário para o cálculo das emissões provenientes da fermentação entérica que ocorre no sistema digestório de animais ruminantes e emissões do manejo dos dejetos gerados por esses e outros animais de rebanho é a quantidade de animais, por tipo.

O número de cabeças de animais por tipo foi obtido diretamente da plataforma Pesquisa Pecuário Municipal (PPM), do IBGE. Foram coletados dados de número de cabeças de bovinos (gado de corte e gado leiteiro), Equinos, Suínos, Caprinos e Ovinos.

Considerou-se que o gado de corte era composto em sua totalidade por machos (premissa mais

conservadora), pois o IBGE não apresenta esse tipo de abertura.

A.4.2. Uso da Terra

As emissões e remoções de GEE no subsetor de uso da terra estão relacionadas às mudanças nos estoques de carbono do solo, especialmente quando a área em questão é convertida para outro uso, como, por exemplo, de floresta nativa para agropecuária.

O município de Belém está inserido no bioma Amazônico, e os dados de supressão nativa foram avaliados para cada ano inventariado por meio das informações do PRODES⁸ e MapBiomas⁹. O PRODES, uma ferramenta desenvolvida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), monitora o desmatamento via satélite nas regiões que compõem a Amazônia Legal. Este projeto, realizado em colaboração com o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), integra o Grupo Permanente de Trabalho Interministerial para a redução dos índices de desmatamento da Amazônia Legal, uma ação do Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). Desde 1988, as taxas anuais de desmatamento na região são fundamentais para a formulação de políticas públicas pelo governo brasileiro.

O PRODES utiliza imagens de satélite da classe Landsat, com resolução espacial de 20 a 30 metros e uma taxa de revisita de 16 dias. A seleção criteriosa destas imagens visa minimizar o impacto da cobertura de nuvens, garantindo critérios de interoperabilidade. O PRODES estabelece uma área mínima de mapeamento de 6,25 hectares, e suas estimativas são reconhecidas como confiáveis tanto por cientistas nacionais quanto internacionais (Kintish, 2007). Esse sistema demonstra relevância para a implementação de ações e planejamento de políticas públicas na Amazônia, com análises recentes, conduzidas por especialistas independentes, indicando um nível de precisão próximo a 95%.

Por sua vez, o MapBiomas é uma iniciativa em rede composta por ONGs, universidades e startups de tecnologia. Juntas, disponibilizam uma plataforma colaborativa aberta, desenhada para incorporar contribuições da comunidade científica e de outros interessados em colaborar. O MapBiomas produz anualmente o mapeamento da cobertura e uso da terra e monitora a superfície de água e as cicatrizes de fogo mensalmente, com dados a partir de 1985. A iniciativa conta com instituições responsáveis por diferentes biomas e temas transversais, otimizando as soluções. O MapBiomas é uma plataforma aberta, multiplicável, com possibilidade de aplicação em outros contextos.

O MapBiomas utiliza imagens de satélite e técnicas de machine learning para o processamento de

⁸ PRODES - Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. Disponível em: http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates

⁹ MapBiomas - Mapeamento anual da cobertura e uso da terra. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/cobertura>

informações sobre o uso e a cobertura da terra. A precisão espacial dos dados é de 30 metros, uma vez que são utilizadas imagens Landsat para a elaboração dos mapas. A área desmatada no município de Belém variou entre cerca de 45 hectares, referentes à transição de menor desmatamento (2020-2021), e aproximadamente 170 hectares (2018-2019).

A.5. PROCESSOS INDUSTRIAIS E USO DE PRODUTOS (IPPU)

No processo de mapeamento das atividades emissoras para integrar o IEGEE de Belém, não foram identificadas atividades emissoras significativas associadas a processos industriais dentro dos limites estabelecidos. Quanto ao consumo de produtos, não foram disponibilizados dados relacionados a esse tipo específico de consumo.

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

O IEGEE do município de Belém foi elaborado por meio de uma ferramenta de cálculo própria desenvolvida pela equipe técnica do ICLEI - América do Sul. Essa ferramenta fundamenta-se no padrão GPC. Após a inserção de dados, dos fatores de emissão e da seleção dos fatores de conversão para CO₂e, a ferramenta facilita a visualização dos resultados gerais, por setores e subsetores, seguindo o formato exigido pela metodologia GPC. Isso promove a comparabilidade temporal e espacial do inventário.

A escolha do método de cálculo teve relação com a disponibilidade de dados, dos fatores de emissão e da ferramenta. As emissões e remoções de GEE são calculadas para cada fonte e sumidouro individualmente, segundo a fórmula abaixo. Posteriormente, estão detalhados os métodos de cálculo e equações específicas para cada tipo de fonte de emissão relacionada aos diferentes setores.

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

Em que:

<i>i</i> :	Índice relacionado à atividade da fonte ou sumidouro individual;
<i>g</i> :	Índice relacionado a um tipo de GEE;
<i>y</i> :	Ano de referência do Inventário;
<i>E_{i,g,y}</i> :	Emissões ou remoções de GEE <i>g</i> atribuíveis à fonte ou sumidouro <i>i</i> durante o ano <i>y</i> em tCO ₂ e;
<i>DA_{i,y}</i> :	Dado consolidado de atividade referente à fonte ou sumidouro <i>i</i> no ano <i>y</i> , na unidade <i>u</i> .
<i>FE_{i,g,y}</i> :	Fator de emissão ou remoção do GEE <i>g</i> aplicável à fonte ou sumidouro <i>i</i> no ano <i>y</i> em tGEE g/u;
<i>PAG_g</i> :	Potencial de aquecimento global do GEE <i>g</i> , em tCO ₂ e/tGEE <i>g</i> .

B.1. ENERGIA ESTACIONÁRIA E TRANSPORTES

B.1.1. Consumo de Combustíveis

O método de estimativa das emissões de GEE provenientes da combustão de diversos tipos de combustíveis baseia-se no volume total consumido a cada ano. Os tipos de GEE emitidos durante a queima de combustíveis fósseis são o CO₂, o CH₄ e o N₂O. O cálculo para essas emissões é realizado conforme a fórmula a seguir:

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

Em que:

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

Os consumos de gasolina e diesel exigem uma etapa adicional de cálculo, dado que há variação do percentual de etanol anidro e de biodiesel em suas composições, respectivamente, dependendo do ano analisado. Para calcular as emissões provenientes do consumo desses tipos de combustível, aplicaram-se os percentuais de biocombustível anteriormente ao uso da equação descrita acima.

B.1.2. Consumo de Energia Elétrica e perdas na transmissão e distribuição (T&D)

A determinação das emissões de GEE associadas ao consumo de eletricidade e às perdas na transmissão e distribuição (T&D) baseou-se nas informações sobre o consumo de eletricidade em MWh para cada atividade municipal, ao longo dos anos abrangidos pelo inventário. Utilizando esses dados específicos, calcularam-se as emissões empregando o fator médio anual de emissão da rede nacional (grid), o qual foi aplicado considerando os valores de consumo anual correspondentes a cada atividade específica. No caso do Brasil, o tipo de GEE considerado na geração de energia é o CO₂, e as emissões foram calculadas seguindo a seguinte fórmula:

$$E_{CO_2,m,y} = C_{m,y} * FE_{CO_2,m,y}$$

Em que:

$i :$	Mês de referência do consumo de eletricidade;
$y :$	Ano de referência do Inventário;
$E_{CO_2,m,y} :$	Emissões de CO ₂ atribuíveis ao consumo de eletricidade da rede nacional no mês m durante o ano y em tCO ₂ e;
$C_{m,y} :$	Consumo de eletricidade da rede nacional no mês m no ano y , em MWh ;
$FE_{i,g,y} :$	Fator de emissão de CO ₂ aplicável à eletricidade da rede nacional no mês m no ano y e em tCO ₂ / MWh ;

No cálculo das emissões decorrentes das perdas na transmissão e distribuição (T&D), é crucial aplicar o fator de perdas ao consumo total de eletricidade. Em outras palavras, a mesma fórmula utilizada para estimar o consumo de energia elétrica é empregada para calcular as perdas na T&D. Esse cálculo é realizado usando o fator de perdas médio nacional, conforme as informações fornecidas pelo MCTI. Dessa forma, torna-se possível realizar o cálculo da estimativa das emissões relacionadas a esse aspecto da distribuição de eletricidade com maior precisão.

B.2. RESÍDUOS

B.2.1. Resíduos Sólidos destinados a aterros

A fim de calcular as emissões originadas da destinação de resíduos sólidos em aterros, reuniram-se informações sobre as quantidades de resíduos gerados no município e enviados para aterros dentro e fora dos seus limites, além dos resíduos provenientes de outros municípios que são recebidos no aterro local. Com base nessas informações, utilizou-se o método Compromisso de Metano, o qual apresenta as seguintes equações:

$$E_{CH_4,y} = (QR_y * L_{o,y} - R_y) * (1 - OX_y)$$

$$L_{o,y} = MCF_o * DOC_{média} * DOC_f * F_{CH_4} * \frac{16}{12}$$

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

Em que:

$y :$	Ano de referência do Inventário;
$i :$	Tipo de resíduo;

$E_{CH_4,y}$:	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;
MCF_0 :	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 de Belém);
DOC_i :	Carbono orgânico degradável do resíduo i ;
$\%_{i,y}$:	Fração de quantidade de resíduo i no ano y ;
DOC_f :	Fração de resíduo que se decompõe, adimensional (valor padrão de 50%, conforme IPCC (2019));
$\frac{16}{12}$:	Conversão de massa de C em CH ₄ , 1,33;
F_{CH_4} :	Fração de metano no biogás, adimensional (valor padrão de 50%, conforme IPCC (2019)).

B.2.3. Efluentes Domésticos

A quantificação do CH₄ gerado durante o tratamento de efluentes das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) e nos Sistemas de Disposição Oceânica (SDOs) é estimada utilizando a seguinte fórmula:

$$E_{CH_4,i,y} = \frac{V_{i,y} * MCF_{AR,i} * B_0 * BOD_{i,rate} * (1 - TOW_{REM,i})}{10^6}$$

Em que:

y :	Ano de referência do Inventário;
i :	Tipo de tratamento de efluente (reator anaeróbico ou fossa séptica);
$E_{CH_4,i,y}$:	Emissões CH ₄ atribuíveis ao tratamento de efluentes do tipo i no ano y , em t CH ₄ ;
$V_{i,y}$:	Volume de efluente por tipo de tratamento i no ano y , em m ³ ;
BOD_{rate} :	Quantidade média de Demanda Bioquímica de Oxigênio (BOD do inglês <i>Biochemical Oxygen Demand</i>) gerada por l em mg BOD/l (utilizada a média nacional de 337,5mg BOD/l);
$MCF_{AR,i}$	Fator de correção de metano para o tipo de tratamento i , adimensional;
B_0 :	Valor máximo de produção de CH ₄ em efluentes sanitários em kg CH ₄ /kg BOD (valor padrão de 0,6kg CH ₄ /kg BOD conforme IPCC, 2019);
$TOW_{REM,i}$:	Fração de orgânicos removidos durante o tratamento de efluentes, por tipo de tratamento i , adimensional.

Partiu-se do princípio de que nenhuma estação de tratamento de efluentes no município de Belém

possui sistemas de recuperação de CH₄. Os valores de Fator de Emissão de Metano (MCF) foram obtidos do IPCC (2019) para cada tipo de tratamento, de acordo com as informações fornecidas pela Cosanpa, tanto para os Sistemas de Disposição Oceânica (SDOs) como para as Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs). Além disso, os dados de Taxa de Emissão de Metano Totalmente Oxidado (TOWREM) para as ETEs foram baseados nos registros disponibilizados pela Cosanpa, separados por estação de tratamento, enquanto para os SDOs foi adotado o valor do IPCC (2019) relativo ao tratamento físico (primário).

No que se refere à população não atendida pelo sistema de esgotamento sanitário, foram utilizadas as estimativas fornecidas pela Cosanpa para o município de Belém em cada ano. Nessas circunstâncias, 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. Em tais casos, a quantificação do CH₄ produzido no efluente não tratado e despejado em esgotos a céu aberto foi estimada utilizando a fórmula a seguir:

$$E_{CH_4,i,y} = \frac{Pop_y * MCF_i * B_o * BOD_{rate} * 0,001 * 365}{10^3}$$

Em que:

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

B.3. AGRICULTURA, FLORESTAS E USO DA TERRA

B.3.1. Rebanhos

As emissões provenientes dessa fonte resultam da fermentação entérica que ocorre no sistema digestório de animais ruminantes, assim como do manejo ou não dos dejetos gerados por esses e

outros animais de criação. Para o cálculo dessas emissões, o dado de entrada necessário é a quantidade de animais por tipo. O IEGEE do município de Belém inclui bovinos, equinos, caprinos, ovinos e suínos, sendo os bovinos divididos em gado leiteiro e gado de corte macho. O metano é produzido durante a fermentação entérica desses animais, e as emissões são calculadas de acordo com a seguinte equação:

$$E_{CH_4,i,y} = N_{i,y} * FE_{CH_4,i,y}$$

Em que:

<i>y</i> :	Ano de referência do Inventário;
<i>i</i> :	Tipo de animal;
<i>E_{CH4,i,y}</i> :	Emissões CH ₄ atribuíveis à fermentação entérica de animais do tipo <i>i</i> no ano <i>y</i> , em t CH ₄ ;
<i>N_{i,y}</i> :	Número de animais tipo <i>i</i> no ano <i>y</i> ;
<i>FE_{CH4,i,y}</i> :	Fator de emissão de CH ₄ aplicável para fermentação entérica do animal tipo <i>i</i> , em t CH ₄ /animal <i>i</i> .

De forma análoga, para o cálculo das emissões originadas do manejo dos dejetos dos animais, também é essencial o dado de entrada referente à quantidade de animais por tipo. As emissões de CH₄ relacionadas a essa fonte são calculadas utilizando a seguinte equação:

$$E_{CH_4,y} = N_{i,y} * FE_{CH_4,i,y}$$

Em que:

<i>y</i> :	Ano de referência do Inventário;
<i>i</i> :	Tipo de animal;
<i>E_{CH4,i,y}</i> :	Emissões de CH ₄ atribuíveis ao manejo de dejetos do animal do tipo <i>i</i> no ano <i>y</i> , em t CH ₄ ;
<i>N_{i,y}</i> :	Número de animais tipo <i>i</i> no ano <i>y</i> ;
<i>FE_{CH4,i,y}</i> :	Fator de emissão do CH ₄ aplicável ao manejo de dejetos do animal <i>i</i> , em t CH ₄ /cabeça de animal;

É importante destacar que o N₂O também é gerado durante o processo de manejo de dejetos, e o cálculo das emissões provenientes dessa fonte é realizado por meio da seguinte equação:

$$E_{N_2O,y} = E_{N_2Odir,y} + E_{N_2Ovot,y} + E_{N_2Oesc,y}$$

$$E_{N_2Odir,y} = \frac{44}{28} * N_{i,y} * Nex_{i,y} * \Sigma (MS_{T,i} * FE3_{N,T})$$

$$E_{N2O_{vot},y} = \frac{44}{28} * N_{i,y} * Nex_{i,y} * \Sigma (MS_{T,i} * FracGasMS_{T,i} * FE4_N)$$

$$E_{N2O_{esc},y} = \frac{44}{28} * N_{i,y} * Nex_{i,y} * \Sigma (MS_{T,i} * FracLeach_{T,i} * FE5_N)$$

Em que:

<i>i</i> :	Ano de referência do Inventário;
<i>y</i> :	Tipo de animal;
<i>T</i> :	Tipo de manejo do dejetos;
<i>E</i>_{N2O,y} :	Emissões totais de N ₂ O atribuíveis ao manejo de dejetos do animal <i>i</i> pelo tipo de tratamento <i>T</i> no ano <i>y</i> , em t N ₂ O;
<i>E</i>_{N2Odir,y} :	Emissões de N ₂ O diretas atribuíveis ao manejo de dejetos do animal <i>i</i> pelo tipo de tratamento <i>T</i> no ano <i>y</i> , em t N ₂ O;
<i>E</i>_{N2Ovot,y} :	Emissões de N ₂ O provenientes de volatilização atribuíveis ao manejo de dejetos do animal <i>i</i> pelo tipo de tratamento <i>T</i> no ano <i>y</i> , em t N ₂ O;
<i>E</i>_{N2Oesc,y} :	Emissões de N ₂ O provenientes de escoamento atribuíveis ao manejo de dejetos do animal <i>i</i> pelo tipo de tratamento <i>t</i> no ano <i>y</i> , em t N ₂ O;
<i>N</i>_{<i>i,y</i>} :	Número de animais do tipo <i>i</i> no ano <i>y</i> ;
<i>Nex</i>_{<i>i,y</i>} :	Média de quantidade de nitrogênio dos dejetos excretados por tipo de animal <i>i</i> no ano <i>y</i> ;
<i>FE3</i>_{N,T} :	Fator de emissão de N ₂ O diretas aplicável ao manejo de dejetos pelo tipo de tratamento <i>T</i> , em t N ₂ O-N/kg N;
<i>FE4</i>_N :	Fator de volatilização e re-deposição aplicável ao manejo de dejetos, adimensional (valor padrão de 0,010 de acordo com IPCC, 2019);
<i>FE5</i>_N :	Fator de escoamento aplicável ao manejo de dejetos, adimensional (valor padrão de 0,011 de acordo com IPCC, 2019);
<i>MS</i>_{T,i} :	Fração de dejetos dos animais do tipo <i>i</i> manejados pelo tipo de tratamento <i>T</i> , adimensional;
<i>FracGasMS</i>_{T,i} :	Fator de perda de N por volatilização de NH ₃ e NO _x para o tipo de animal <i>i</i> e tipo de tratamento <i>T</i> , adimensional;
<i>FracLeach</i>_{T,i} :	Fator de perda de N para escoamento por tipo de tratamento <i>T</i> , adimensional.

B.3.2. Emissões de Uso da Terra

As emissões e remoções de GEE no subsetor de uso da terra referem-se às alterações nos estoques de carbono do solo, especialmente quando a área em questão é transformada para outros usos, como a conversão de floresta nativa para atividades agropecuárias. O município de Belém está situado no bioma Amazônia, e os dados referentes à supressão da vegetação nativa foram calculados utilizando a seguinte equação:

$$\text{Emissões por supressão vegetal} - E_{CO2,y} = A_y * CC * \frac{44}{12}$$

Em que:

y:	Ano de referência do Inventário;
$E_{CO_2,y}$:	Emissões CO ₂ atribuíveis à supressão vegetal no ano y , em t CO ₂ ;
A_y:	Área de supressão vegetal no ano y , em ha;
CC:	Conteúdo de carbono em vegetação, em t C/ha (valor de 166,93 para Amazônia de acordo com MCT, 2010);
$\frac{44}{12}$	Fator de conversão de C para CO ₂ .

ANEXO C. FATORES DE EMISSÃO.

Nesta seção, são apresentados os fatores de emissão (FE) utilizados no IEGEE de Belém. Os fatores de emissão são valores que correlacionam uma atividade antrópica com sua respectiva quantidade de GEE lançada na atmosfera, e esses valores podem ser definidos de forma padronizada (default) pelo IPCC para atividades que tenham um perfil de emissão similar, ou especificados 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 não está neste anexo porque não foram encontradas atividades na cidade.

C.1. Energia estacionária

Tabela 1 - Fatores de Emissão do Sistema Interligado Nacional – Fator médio anual.

Ano	2018	2019	2020	2021	2022
Fator Médio (tCO ₂ /MWh)	0,074	0,075	0,0617	0,1264	0,0426

Fonte: MCTI,2023

Tabela 2 - Densidades e Poder Calorífico Inferior (PCI) por tipo de combustível.

Precursor	Densidade (kg/m ³)	PCI (kcal/kg)	Fonte
Biodiesel (B100)	880	9.000	Tabela VIII.9 – Balanço Energético Nacional (EPE,2022)
Etanol Anidro	791	6.750	
Etanol Hidratado	809	6.300	
Gás Liquefeito de Petróleo	552	11.100	
Gás Natural	0,74	8.800	
Gasolina Automotiva	742	10.400	
Gasolina de Aviação	726	10.600	
Óleo Combustível	1.000	9.590	
Óleo Diesel	840	10.100	
Querosene de aviação	799	10.400	

Tabela 3 - Fatores de Emissão de GEE – Fontes Estacionárias - setor Energia.

Precursor	FE CO ₂	FE CH ₄	FE N ₂ O	Unidade de medida	Fonte
Subsetor – Construções Residenciais, Agricultura, Silvicultura e Pesca					
Gás Liquefeito de Petróleo	63.100	5	0,1	kg GEE/TJ	V2_Ch2 Tabela 2.5 (IPCC, 2006)
Gás Natural	56.100	5	0,1	kg GEE/TJ	
Óleo Diesel	74.100	10	0,6	kg GEE/TJ	
Subsetor – Construções Comerciais e Institucionais					
Gás Liquefeito de Petróleo	63.100	5	0,1	kg GEE/TJ	V2_Ch2 Tabela 2.4 (IPCC, 2006)
Gás Natural	1,7259	3E-5	0,1	kg GEE/m ³	
Óleo Diesel	74.100	10	0,6	kg GEE/TJ	
Óleo combustível	3,1077	5,9E-5	1,2E-5	kg GEE/kg	
Subsetor – Indústria de Manufatura e Construção					
Gás Liquefeito de Petróleo	63.100	5	0,1	kg GEE/TJ	4CN_Energia_Setorial Tabela 12 (MCTI, 2020)
Gás Natural	1,7259	1,2E-4	0	kg GEE/m ³	
Óleo Diesel	2.632	0,007	0,014	kg GEE/m ³	
Óleo combustível	3,1077	1,2E-4	1,2E-5	kg GEE/kg	
Querosene Iluminante	2,516	0,0001	2E-4	t GEE/m ³	

C.2. Transportes

Tabela 4 - Fatores de Emissão de GEE – Fontes Móveis.

Precursor	FE CO ₂	FE CH ₄	FE N ₂ O	Unidade de medida	Fonte
Transporte terrestre					
Biodiesel	2.647*	0,1	0	kg GEE/ m ³	4 ^a Comunicação Nacional. Relatório setorial do setor de Energia (Tabela 15.)
Etanol	1.511*	0,42	0,13	kg GEE/ m ³	
Gás Natural	1,72	0,15	0,002	kg GEE/ m ³	
Gasolina Automotiva	1.634	0,5	0,2	kg GEE/ m ³	
Óleo Diesel - terrestre	2.342	0,017	0,015	kg GEE/ m ³	
Transporte aéreo					
Gasolina de Aviação	2.255	0,5	0,2	kg GEE/ m ³	V2_Ch3 Tabela 3.6.4 Tabela 3.6.5 (IPCC,2006)
Querosene de Aviação	2.487	0,5	0,2	kg GEE/ m ³	
Querosene de Aviação Internacional	2.516	0,105	0,2	kg GEE/m ³	

C.3. Resíduos

Tabela 5 - Fatores de Correção de CH₄ – Tratamento de efluentes.

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

Tabela 6 - Fatores de Emissão de GEE – Tratamento de efluentes.

Tipo de tratamento de efluente	FE N ₂ O (kg N ₂ O-N /kg N)	Fonte
Esgoto coletado e não tratado – descarte em corpos hídricos	0,005	V5_Ch6 Tabela 6.8A (IPCC,2019)
Esgoto não coletado e não tratado – esgoto a céu aberto	0,019	

Tabela 7 - Fatores de Emissão de GEE – Tratamento de resíduos sólidos.

Tipo de destinação	FE CO ₂ (tGEE/t)	FE CH ₄ (tGEE/t)	FE N ₂ O (tGEE/t)	Fonte
RSS - incineração	0,572	6,0E-6	1E-4	FE calculados com base no V5_Ch6 (IPCC,2019) E no RR_4CN_RESID UOS (MCTI, 2020)

Tabela 8 - Fatores de Correção de CH₄ – Resíduos Sólidos.

Parâmetro	Valor	Observação	Fonte
MCF Aterro Sanitário	1	Fator de correção de CH ₄	V5_Ch3 Tabela 3.1 (IPCC,2006)
MCF não categorizado	0,6	Fator de correção de CH ₄	
DOCf (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	

Tabela 9 – Eficiência de coleta de gás de aterro (CH₄).

Eficiência	%	Fonte
Eficiência de coleta de gas do aterro	60%	Baseado em dado de eficiência do sistema de captura do inventário de 2018
Eficiência de destruição do metano	90%	

Tabela 10 – Composição Gravimétrica.

Material	%	Fonte
Papel / Papelão	6,2%	PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO INTEGRADO de Belém (2022).
Plástico mole	3,9%	
Plástico duro	5,2%	
PET	3,1%	
Longa vida	1,1%	
Metais / ferro	3,1%	
Alumínio	1,1%	
Tecidos / trapos	5,3%	
Vidros	2,3%	
Orgânicos	51,3%	
Entulhos	5,1%	
Rejeitos	8,3%	
Outros, resíduos inerte	4,0%	
Carbono orgânico degradável	0,134343	

C.3. AFOLU

Tabela 11 - Fatores de Emissão de GEE – AFOLU.

Precursor	FE CO ₂	FE CH ₄	FE N ₂ O	Unidade de medida	Fonte
Subsetor – Fermentação Entérica					
Bovinos de leite	0	83,5	0	kg CH ₄ /cabeça/ano	RR_4CN_3.A FERMENTAÇÃO ENTÉRICA (MCTI, 2020)
Bovinos de corte	0	58,8	0	kg CH ₄ /cabeça/ano	
ovinos	0	5	0	kg CH ₄ /cabeça/ano	V4_Ch10 tabela 10.10 (IPCC, 2006)
suínos	0	1,0	0	kg CH ₄ /cabeça/ano	
caprinos	0	5	0	kg CH ₄ /cabeça/ano	
equinos	0	18	0	kg CH ₄ /cabeça/ano	
Subsetor – Manejo de dejetos					
Bovinos de leite	0	4,2	0,0 2	kg CH ₄ /cabeça/ano	RR_4CN_3.B_MANEJO DE DEJETOS (MCTI, 2020)
Bovinos de corte	0	1,8	0,3 1	kg CH ₄ /cabeça/ano	
suínos	0	12,2	0,0 36	kg CH ₄ /cabeça/ano	

ovinos	0	0,20	0	kg CH4 /cabeça/ano	V4_Ch10 tabela 10.14 e 10.15 (IPCC, 2006)
caprinos	0	0,22	0	kg CH4 /cabeça/ano	
equinos	0	2,19	0	kg CH4 /cabeça/ano	

C.4. Considerações sobre o Inventário

A metodologia GPC estabelece como requisitos para a elaboração do relatório duas abordagens distintas e complementares, conhecidas como:

- **BASIC:** nesta abordagem, são levantadas as emissões de escopo 1 e 2 de Energia Estacionária e Transportes, e as emissões de escopo 1 e 3 de Resíduos. Essa abordagem abrange as fontes de emissão que normalmente ocorrem em cidades e que possuem métodos de cálculo estabelecidos, com dados de entrada disponíveis;
- **BASIC+:** nesta abordagem mais abrangente, são levantadas as emissões de escopo 1 de AFOLU e IPPU, e as emissões de escopo 3 de Energia Estacionária e Transportes, além das abarcadas pelo BASIC. Por isso, a coleta de dados e os procedimentos de cálculo são mais desafiadores.


Na elaboração do IEGEE do município de Belém, os Escopos 1, 2 e 3 foram definidos de acordo com a abordagem de localização geográfica, utilizando o nível BASIC+. As emissões são reportadas conforme o modelo apresentado na Tabela 12.


Tabela 12. Modelo de reporte metodologia GPC por Escopo e Setor de emissão.


Setor	Total por escopo (t CO ₂ e)		
	Escopo 1	Escopo 2	Escopo 3
I.Energia Estacionária	X	X	X
II.Transportes	X	X	X
III.Resíduos	X		X
IV.AFOLU	X		
V.IPPU	X		
VI.Outras Emissões			


Fonte: Elaboração própria com base em WRI; ICLEI; C40 (2014).


Legenda:

 Fontes de emissão exigidas para abordagem BASIC

 Fontes de emissão adicionais para abordagem BASIC+

 Atividades que não ocorrem

 Fontes de emissão não exigidas para abordagem BASIC+

 Fontes de emissão de Escopo 3 para abordagem BASIC+

A Tabela 13 apresenta as notações utilizadas para descrever limitações na disponibilidade de dados e diferenças nas fontes de emissões entre cidades.

Tabela 13. Definição de notações-chave de disponibilidade de dados.

Notação chave	Definição	Definição
IE	Incluída em outro local	Emissões estimadas e apresentadas em outra categoria.
NE	Não estimado	Emissões ocorrem, mas não são estimadas ou reportadas.
NO	Não ocorre	Atividade ou processo não ocorre nos limites do inventário.
C	Confidencial	Emissões que podem levar à divulgação de dados sigilosos.

Fonte: Elaboração própria com base em WRI; ICLEI; C40 (2014).

A qualidade dos dados de atividade e fatores de emissão é reportada diretamente na ferramenta de cálculo. Esses dados devem ser avaliados considerando se as informações foram obtidas de fontes confiáveis e verificáveis, e se refletem geograficamente a localização do dado de atividade. Dessa forma, é necessário realizar a análise de sua qualidade e de seus fatores de emissão, e devem ser inseridos comentários explicativos sobre suas fontes e confiabilidade, conforme demonstrado pela Tabela 14.

Tabela 14. Definição de qualidade de dados e fatores de emissão.

Qualidade	Dados de atividade	Fatores de emissão
High	Detalhado	Específicos
Medium	Modelado a partir de hipóteses robustas	Genéricos (nível nacional)
Low	Altamente moderado ou alto grau de incerteza	<i>Default</i> (padrão)

Fonte: Elaboração própria com base em WRI; ICLEI; C40 (2014).

A Tabela 15 apresenta a notação para as fontes de emissão que foram identificadas com alguma limitação no inventário de GEE do município de Belém, de acordo com a descrição acima.

Tabela 15. Considerações do IEGEE do município de Belém.

Setor	Subsetor	Notação
I. Energia Estacionária	I.4.1 – Emissões pelo consumo de combustíveis fósseis em indústrias de Energia	NO
	I.4.2 – Emissões pelo consumo de energia elétrica em indústrias de Energia	NO
	I.4.3 – Emissões fugitivas em indústrias de Energia	NE
	I.4.4 - Geração de energia exportada para o GRID	NE
	I.5.2 - Emissões pelo consumo de energia elétrica em Agricultura, silvicultura e Pesca	NO
	I.5.3 – Emissões fugitivas em indústrias de Agricultura, silvicultura e Pesca	NE
	I.6.1. – Emissões pelo consumo de combustíveis fósseis para Fontes não especificadas	NO
	I.6.3 - Emissões fugitivas para Fontes não especificadas	NO
	I.7 - Emissões fugitivas referentes a atividades de mineração de carvão	NO
I.8 - Emissões fugitivas referentes a atividades de óleo e gás	NO	
II. Transporte	II.1.3 – Emissões de viagens transfronteiriças que ocorrem fora da cidade e perdas de T&D decorrentes do consumo de energia fornecida pela rede em Rodovias	NE
	II.2.3 – Emissões de viagens transfronteiriças que ocorrem fora da cidade e perdas de T&D decorrentes do consumo de energia fornecida pela rede em Ferrovias	NE
	II.3.3 – Emissões de viagens transfronteiriças que ocorrem fora da cidade e perdas de T&D decorrentes do consumo de energia fornecida pela rede em transporte hidroviário	NE
	II.4.2 – Emissões de energia fornecida pela rede consumida para transporte aéreo	NO

	<p>II.5 .1 - Emissões da queima de combustível para transporte off-road que ocorrem na cidade</p> <p>II.5 .2 - Emissões de energia fornecida pela rede consumida para transporte off-road</p> <p>II.5 .3 - Emissões de viagens transfronteiriças que ocorrem fora da cidade e perdas de T&D decorrentes do consumo de energia fornecida pela rede.</p>	<p>NO</p> <p>NE</p> <p>NE</p>
III. Resíduos	<p>III.2.1 - Emissões de resíduos gerados e tratados dentro da cidade - Tratamento Biológico</p> <p>III.2.2 - Emissões de resíduos gerados dentro dos limites na cidade mas tratados fora da cidade - Tratamento Biológico</p> <p>III.2.3 - Emissões de resíduos gerados fora dos limites da cidade, mas tratados na cidade - Tratamento Biológico</p> <p>III.3.2 – Emissões de resíduos incinerados e/ou queimados fora da cidade</p> <p>III.4.2 - Emissões de água residuárias geradas fora da cidade</p>	<p>NO</p> <p>NO</p> <p>NO</p> <p>NO</p> <p>NO</p>
IV. IPPU	<p>IV.1- Emissões de processos industriais que ocorrem dentro da cidade</p> <p>IV.2 - Uso de produtos</p>	<p>NO</p> <p>NO</p>
V. AFOLU	V.3 - Emissões de fontes agregadas e fontes de emissão não-CO2 no solo	NE
VI. Outras Emissões Indiretas	VI.1 Outras Emissões Indiretas	NE

ANEXO D. EMISSÕES DE GEE GPC - REPORTE

As diretrizes do GPC estabelecem a forma como os resultados devem ser apresentados. Nesse contexto, as Tabelas 16 até 20 apresentam os resultados conforme os requisitos do método para os anos inventariados.

Tabela 16. Sumário das emissões de GEE do município de Belém 2018.

BASIC+ Other Scope 3	Scope 1	Scope 2	Scope 3
Energia Estacionária	206.854	177.327	1.021
Prédios residenciais	118.540	76.455	440
Indústrias de manufatura e construção	49.493	14.999	86
Indústrias de Energia	NO	NO	NE
Geração de energia fornecida à grade	NE		
Fontes não especificadas	NO		NE
Emissões fugitivas de sistemas de petróleo e gás natural	NO		
Emissões fugitivas de mineração, processamento, armazenamento e transporte de carvão	NO		
Edifícios e instalações comerciais e institucionais	27.003	79.274	456
Atividades de agricultura, silvicultura e pesca	11.818	88	1
Transportes	866.604	488	14.502
Transporte off-road	NO	NO	NE
Rodoviário	584.677	488	NE
Hidroviário	783	0	NE
Ferrovário	NO	NO	NO
Aviação	281.145	0	NE
Resíduos	141.339	-	222.124
Resíduos sólidos gerados na cidade	13.916		222.124
Resíduos sólidos gerados fora da cidade	NO		
Resíduos incinerados e queimados gerados na cidade	699		
Resíduos incinerados e queimados gerados fora da cidade	NO		

Resíduos biológicos gerados na cidade	NO		
Resíduos biológicos gerados fora da cidade	NO		
Águas residuais geradas na cidade	126.724		
Águas residuais geradas fora da cidade	NO		
IPPU	NE	NE	NE
AFOLU	56.447	-	-
Emissões de Uso da Terra	52.752		
Emissões de rebanho	1.405		
Emissões de fontes agregadas e não-CO ₂	2.290		
Outros (Escopo 3)			
TOTAL (tCO₂e)	1.686.706		

Tabela 17. Sumário das emissões de GEE do município de Belém 2019.

BASIC+ Other Scope 3	Scope 1	Scope 2	Scope 3
Energia Estacionária	207.588	179.861	1.022
Prédios residenciais	114.532	77.244	439
Indústrias de manufatura e construção	53.554	13.998	80
Indústrias de Energia	NO	NO	NE
Geração de energia fornecida à grade	NE		
Fontes não especificadas	NO		NE
Emissões fugitivas de sistemas de petróleo e gás natural	NO		
Emissões fugitivas de mineração, processamento, armazenamento e transporte de carvão	NO		
Edifícios e instalações comerciais e institucionais	29.436	81.408	462
Atividades de agricultura, silvicultura e pesca	10.066	83	0
Transportes	761.425	482	8.302
Transporte off-road	NO	NE	NE
Rodoviário	591.601	482	NE
Hidroviário	621	0	NE
Ferrovário	NO	NO	NE
Aviação	169.204	NE	8.302
Resíduos	130.433	-	209.888
Resíduos sólidos gerados na cidade	3.584		209.888
Resíduos sólidos gerados fora da cidade	NO		
Resíduos incinerados e queimados gerados na cidade	1.350		
Resíduos incinerados e queimados gerados fora da cidade	NO		

Resíduos biológicos gerados na cidade	NO		
Resíduos biológicos gerados fora da cidade	NO		
Águas residuais geradas na cidade	125.499		
Águas residuais geradas fora da cidade	NO		
IPPU	NE	NE	NE
AFOLU	76.431	-	-
Emissões de Uso da Terra	72.463		
Emissões de rebanho	1.228		
Emissões de fontes agregadas e não-CO ₂	2.740		
Outros (Escopo 3)			
TOTAL (tCO₂e)	1.575.432		

Tabela 18. Sumário das emissões de GEE do município de Belém 2020.

BASIC+ Other Scope 3	Scope 1	Scope 2	Scope 3
Energia Estacionária	203.236	149.821	1.034
Prédios residenciais	107.987	69.567	480
Indústrias de manufatura e construção	59.098	11.729	81
Indústrias de Energia	NO	NO	NE
Geração de energia fornecida à grade	NE		
Fontes não especificadas	NO		NE
Emissões fugitivas de sistemas de petróleo e gás natural	NO		
Emissões fugitivas de mineração, processamento, armazenamento e transporte de carvão	NO		
Edifícios e instalações comerciais e institucionais	26.190	62.640	432
Atividades de agricultura, silvicultura e pesca	9.961	85	1
Transportes	679.173	371	2.058
Transporte off-road	NO	NO	NE
Rodoviário	560.081	371	NE
Hidroviário	501	0	NE
Ferrovário	NO	NO	NE
Aviação	118.591	NO	2.058
Resíduos	132.565	-	228.088
Resíduos sólidos gerados na cidade	5.320		228.088
Resíduos sólidos gerados fora da cidade	NO		
Resíduos incinerados e queimados gerados na cidade	1.410		
Resíduos incinerados e queimados gerados fora da cidade	NO		

Resíduos biológicos gerados na cidade	NO		
Resíduos biológicos gerados fora da cidade	NO		
Águas residuais geradas na cidade	125.835		
Águas residuais geradas fora da cidade	NO		
IPPU	NE	NE	NE
AFOLU	15.116	-	-
Emissões de Uso da Terra	10.941		
Emissões de rebanho	1.581		
Emissões de fontes agregadas e não-CO ₂	2.594		
Outros (Escopo 3)			
TOTAL (tCO₂e)	1.411.463		

Tabela 19. Sumário das emissões de GEE do município de Belém 2021.

BASIC+ Other Scope 3	Scope 1	Scope 2	Scope 3
Energia Estacionária	201.358	308.879	1.04
Prédios residenciais	99.700	150.702	508
Indústrias de manufatura e construção	63.553	25.133	85
Indústrias de Energia	NO	NO	NE
Geração de energia fornecida à grade	NE		
Fontes não especificadas	NO		NE
Emissões fugitivas de sistemas de petróleo e gás natural	NO		
Emissões fugitivas de mineração, processamento, armazenamento e transporte de carvão	NO		
Edifícios e instalações comerciais e institucionais	29.520	132.872	448
Atividades de agricultura, silvicultura e pesca	8.585	172	1
Transportes	766.072	739	796
Transporte off-road	NO	NE	NE
Rodoviário	581.669	739	0
Hidroviário	302	0	NE
Ferrovário	NO	NO	NE
Aviação	184.101	NE	796
Resíduos	133.378	-	245.196
Resíduos sólidos gerados na cidade	5.516		245.196
Resíduos sólidos gerados fora da cidade	NO		NO
Resíduos incinerados e queimados gerados na cidade	1.468		
Resíduos incinerados e queimados gerados fora da cidade	NO		

Resíduos biológicos gerados na cidade	NO		
Resíduos biológicos gerados fora da cidade	NO		
Águas residuais geradas na cidade	126.393		
Águas residuais geradas fora da cidade	NO		
IPPU	NE	NE	NE
AFOLU	30.519	-	-
Emissões de Uso da Terra	25.873		
Emissões de rebanho	1.647		
Emissões de fontes agregadas e não-CO ₂	2.998		
Outros (Escopo 3)			
TOTAL (tCO₂e)	1.700.336		

Tabela 20. Sumário das emissões de GEE do município de Belém 2022.

BASIC+ Other Scope 3	Scope 1	Scope 2	Scope 3
Energia Estacionária	187.244	111.271	1.113
Prédios residenciais	98.742	51.669	517
Indústrias de manufatura e construção	51.305	8.447	84
Indústrias de Energia	NO	NO	NE
Geração de energia fornecida à grade	NE		
Fontes não especificadas	NO		NE
Emissões fugitivas de sistemas de petróleo e gás natural	NO		
Emissões fugitivas de mineração, processamento, armazenamento e transporte de carvão	NO		
Edifícios e instalações comerciais e institucionais	29.857	46.936	469
Atividades de agricultura, silvicultura e pesca	7.340	53	1
Transportes	848.347	243	4.413
Transporte off-road	NO	NE	NE
Rodoviário	607.730	243	NE
Hidroviário	512	0	NE
Ferrovário	NO	NO	NE
Aviação	240.104	NE	4.413
Resíduos	109.854		225.400
Resíduos sólidos gerados na cidade	2.128		225.400
Resíduos sólidos gerados fora da cidade	NO		
Resíduos incinerados e queimados gerados na cidade	271		
Resíduos incinerados e queimados gerados fora da cidade	NO		

Resíduos biológicos gerados na cidade	NO		
Resíduos biológicos gerados fora da cidade	NO		
Águas residuais geradas na cidade	107.455		
Águas residuais geradas fora da cidade	NO		
IPPU	NE	NE	NE
AFOLU	6.030		
Emissões de Uso da Terra	1.384		
Emissões de rebanho	1.647		
Emissões de fontes agregadas e não-CO ₂	2.998		
Outros (Escopo 3)			
TOTAL (tCO₂e)	1.493.915		

