

I INVENTÁRIO DE EMISSIONES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO MUNICÍPIO DE SÃO CRISTÓVÃO - SE

APOIO



Financiado pela
União Europeia



GLOBAL COVENANT
of MAYORS for
CLIMATE & ENERGY
LATIN AMERICA



Associação
Brasileira
de Municípios

INSTITUTO
Alziras

FNP



Este inventário de emissões de gases de efeito estufa contou com o apoio técnico do Pacto Global de Prefeitos pelo Clima e a Energia, projeto financiado pela União Europeia.



**Financiado pela
União Europeia**



A Estratégia Nacional do Pacto foi construída pelo Comitê Consultivo Nacional, que conta com a participação das seguintes instituições: Associação Brasileira de Municípios (ABM), Instituto Alziras, ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade e Frente Nacional de Prefeitas e Prefeitos (FNP)



Consultoria Técnica e Acompanhamento: Sandino Lamarca Santos Souza



RESUMO TÉCNICO

PREFEITURA DE SÃO CRISTÓVÃO

MARCOS ANTÔNIO DE OLIVEIRA SANTANA
Prefeito Municipal

JANINE MENEZES DE OLIVEIRA
Secretária Municipal de Meio Ambiente

COORDENAÇÃO TÉCNICA

ELISIO CRISTOVÃO SOUZA DOS SANTOS
Coordenador de Estudos e Pesquisas Ambientais

APOIO TÉCNICO

ALINE BENÍCIO BASTOS LIMA
Diretoria de Limpeza Urbana

CARLYANE DOS SANTOS
Assessora Técnica Especial da Secretaria de Infraestrutura

ELAINE LUIZA DE JESUS MELO
Diretora de Aquicultura

JANAÍNA SOUSA DE OLIVEIRA SANTOS
Assessora técnica da Secretaria de Serviços Urbanos

LEONARDO VIEIRA DANTAS
Assessor Administrativo da Secretaria de Educação

LUCIANA SOUZA VIANA
Engenheira Civil da Secretaria de Infraestrutura

MARA SUELY SOARES MOURA
Assessora Administrativa da Secretaria da Fazenda, Orçamento e Planejamento

SANDRA REGINA DE SENA SANTOS
Coordenadora Municipal de Promoção da Igualdade Racial

THEREZA SOFIA DOS SANTOS FEITOSA
Assessora de Planejamento da Secretaria de Educação

WESLEY FELIX CONCEIÇÃO DOS SANTOS
Diretor de Agricultura da Secretaria de Desenvolvimento Econômico e do Trabalho

AGRADECIMENTOS

Ao prefeito Marcos Santana, à Secretária de Meio Ambiente, Janine Menezes e ao Grupo Técnico nomeado para construção do presente documento, pelo engajamento para concretização do primeiro Inventário de Emissão de gases de Efeito Estufa.

Gostaríamos de expressar nossa profunda gratidão às entidades membros do Comitê Consultivo do Pacto Global de Prefeitos pelo Clima e a Energia: Associação Brasileira de Municípios (ABM), Frente Nacional de Prefeitos e Prefeitas (FNP), ICLEI América do Sul, Instituto Alziras e União Europeia. A colaboração e trabalho conjunto no âmbito da Coordenação Nacional do Brasil foram fundamentais para o sucesso e realização do inventário de gases de efeito estufa de nossa cidade.

Ao Engenheiro Sandino Lamarca do Instituto Nosso Clima que acompanhou todo o processo de elaboração. À Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), à Companhia Energética de Sergipe (ENERGISA), à Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO), à Secretaria de Serviços Básicos, à Secretaria de Desenvolvimento Econômico e do Trabalho, à Secretaria de Assistência Social, à Secretaria de Educação, à Secretaria de Fazenda, Orçamento e Planejamento. Todos fundamentais para a conclusão deste trabalho, com o fornecimento de informações.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
1.1. Caracterização do Município	5
1.2. Caracterização Da Gestão De Política Ambiental No Município	6
2. INVENTÁRIO DE GASES DE EFEITO ESTUFA	7
2.1. Metodologia GPC	7
3. ENERGIA ESTACIONÁRIA	10
3.1. Queima de combustíveis	11
3.2. Energia Elétrica	12
3.3. Resultados	12
4. TRANSPORTES	15
4.1. Rodoviário	15
4.2. Resultados	15
5. RESÍDUOS	18
5.1. Disposição de Resíduos sólidos	18
5.2. Resíduos Especiais	21
5.3. Tratamento e Afastamento de Efluentes Líquidos	23
5.4. Resultados	25
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
7. REFERÊNCIAS	30

1. INTRODUÇÃO

1.1. Caracterização do Município

O município está localizado no setor leste do estado de Sergipe, limitando-se a norte com Nossa Senhora do Socorro, a sul e oeste com Itaporanga D'Ajuda e a leste com Aracaju. A área municipal ocupa 432,4km², contidos nas folhas topográficas SC.24-Z-B-IV (Aracaju) e SC.24-ZD-I (Estância), escala 1:100.000, editadas pelo MINTER/SUDENE em 1974. Os limites do município podem ser observados no Mapa Rodoviário do Estado de Sergipe, escala 1:400.000 (DER-SE, 2001). A sede municipal tem uma altitude de 30 metros e coordenadas geográficas de 11º01'03" de latitude sul e 37º12'00" de longitude oeste. O acesso, a partir de Aracaju, é efetuado pelas rodovias pavimentadas BR-235, BR-101 e SE-212, num percurso total de 25km.

São Cristóvão, enclave histórico e cultural no estado de Sergipe, revela-se como um município que transcende as fronteiras do tempo. Fundado em 1590, é um dos registros mais antigos do Brasil, conservando em suas ruas e edificações um testemunho vivo dos séculos passados. O município destaca-se por sua arquitetura colonial, mantendo intactos conventos, igrejas e casas que se entrelaçam em um tecido urbano de valor inestimável.

De acordo com o censo de 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população de São Cristóvão atinge cerca de 95.612 habitantes, a cidade abraça a fusão entre o legado histórico e uma dinâmica contemporânea, tornando-se um ponto de convergência para diversos aspectos da vida sergipana.

No âmbito econômico, São Cristóvão presenciou nos últimos anos uma significativa diversificação. Dados do IBGE revelam um aumento substancial nos setores industrial, comercial e de serviços, consolidando o município como um polo econômico em ascensão na região. Empregos gerados e receitas advindas desses setores contribuem para um crescimento econômico sólido e sustentável. O município tem como principais

fontes de receita a agricultura, pecuária, avicultura e mineração. A agricultura possui como principais produtos a cana de açúcar, coco, laranja e mandioca. Os rebanhos têm como principais efetivos os bovinos, suínos e eqüinos. Na avicultura sobressaem os galináceos. Na mineração registra-se a exploração e lavra de argilas, areias e saibros, bem como a produção de petróleo e gás.

O município está inserido em duas bacias hidrográficas, a do rio Vaza-Barris e a do Sergipe. Constituem a drenagem principal, além do rio Vaza-Barris, os rios Comprido, Pitanga, Poxim-mirim, Poxim-açu, Pratal e Paramopama.

1.2. Caracterização Da Gestão De Política Ambiental No Município

De acordo com o Código Municipal de Meio Ambiente, integram o Sistema Municipal de Meio Ambiente:

I - Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Agricultura e Pesca, Agricultura e Pesca - SEMAP, órgão de coordenação, controle e execução da política ambiental;

II - Conselho Municipal de Meio Ambiente de São Cristóvão - CONSEMA, órgão colegiado autônomo de caráter consultivo, deliberativo e normativo da política ambiental

III - Organizações da sociedade civil que tenham a questão ambiental entre seus objetivos;

IV - Outras secretarias e autarquias a fins do Município, definidas em ato do Poder Executivo;

Parágrafo Único - O CONSEMA-SC é o órgão superior deliberativo da composição do SIMMA, nos termos deste Código.

A Secretaria de Meio Ambiente, Agricultura e Pesca foi desmembrada e criada, atualmente, a Secretaria Municipal de Meio Ambiente.

2. INVENTÁRIO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Com a intensificação dos efeitos do aquecimento global, surgem crescentes preocupações a respeito dessa situação. Um contingente substancial de cientistas sustenta que as médias de temperatura terrestre aumentaram cerca de 1,5°C nos últimos dois séculos, e existe a possibilidade de esse aumento atingir entre 2 a 6°C ao longo do século XXI.

Esse incremento de temperatura ocasiona notável instabilidade no planeta, resultando no degelo das calotas polares, elevação do nível do mar, desertificação, irregularidades nos padrões e frequência de precipitações, bem como um aumento nas doenças transmitidas por vetores. Conforme delineado pelo IPCC (2007), até 30% das espécies do globo correm um risco considerável de extinção caso a elevação da temperatura global alcance os 2°C.

Para unir forças com os esforços governamentais mundiais no enfrentamento das mudanças climáticas, a administração local aderiu ao Pacto Global de Prefeitos pelo Clima e Energia no Brasil. Este pacto representa a maior aliança global de prefeitos e líderes locais engajados na luta contra as transformações climáticas.

Nesse acordo, os prefeitos têm a responsabilidade de impulsionar ações climáticas e energéticas ambiciosas e mensuráveis, visando um futuro inclusivo, equitativo, de baixa emissão de gases poluentes e resiliente às adversidades climáticas. Tais esforços contribuem para alcançar e superar os objetivos delineados pelo Acordo de Paris.

O Inventário de Gases de Efeito Estufa figura como um pilar essencial no planejamento eficaz das ações climáticas de uma instituição, cidade ou mesmo de um país. Esse inventário é confeccionado ao analisar a situação climática de determinado local ao longo de um período específico. Além disso, é possível classificar as emissões por fontes e áreas pertinentes.

2.1. Metodologia GPC

Para a realização deste primeiro Inventário foi utilizada a metodologia do Protocolo Global para Inventários de gases de Efeito Estufa para Cidades e Comunidades – GPC (do inglês, Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories).

Esta metodologia foi preparada pelo C40 Cities Climate Leadership Group, pelo ICLEI (Governos Locais pela Sustentabilidade), World Resource Institute (WRI), Banco Mundial, PNUMA e da ONU-HABITAT. Assim, os inventários dos governos locais terão a mesma base de cálculo com a finalidade de alinhar os planejamentos e facilitar as comparações baseando-se todos pela mesma metodologia.

O reporte deve ser realizado para os gases dióxido de carbono (CO₂). Óxido nitroso (N₂O) e metano (CH₄). Depois de calculadas as emissões para estes gases, deve ser feita uma conversão para dióxido de carbono equivalente, ou CO_{2e}.

Os equivalentes de CO₂ são uma unidade de medida universal que dizem o Potencial de Aquecimento Global - GWP (do inglês, Global Warming Power) para medir e comparar GEE de diferentes gases. Deve-se então calcular os GEE individuais e em seguida convertê-los em CO_{2e} multiplicando pelos coeficientes do GWP. São estes os coeficientes, segundo a última versão das diretrizes do IPCC 2006.

Tabela 1 – Potencial de Aquecimento Global.		
GEE	Fórmula	PAG
Dióxido de Carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	28
Óxido Nitroso	N ₂ O	265

Fonte: IPCC – AR5

Para calcular as emissões de cada gás foi utilizada a seguinte fórmula:

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

Em que:

- i – Índice que denota o tipo de atividade;
- g – Índice que denota um tipo de GEE, neste caso, CO_2 , CH_4 ou N_2O ;
- y – Ano de referência do relatório (2022);
- $E_{i,g,y}$ – Emissões ou remoções do GEE g atribuíveis à fonte i durante o ano y , para um gás g ;
- $C_{i,y}$ – Dado da atividade i para o ano y , na unidade de medida u , podendo ser $u\text{ m}^3$ ou kg (ex. consumo de combustível em m^3 ou queima da madeira em kg);
- $FE_{i,g,y}$ – Fator de emissão do GEE g aplicável ao combustível i no ano y , em $t\text{ GEE }g/u$;

Para converter os demais gases em equivalentes de CO_2e :

$$E_{CO2e} = E_{i,g,y} * PAG_g$$

- $E_{i,g,y}$ – Emissões ou remoções do GEE g atribuíveis à fonte i durante o ano y , em para um gás g ;
- PAG_g – Potencial de aquecimento global do GEE g , em $t\text{CO}_2\text{e}/t\text{ GEE }g$.

E em seguida são somados, obtendo-se assim o total de emissões para determinada atividade. As segregações aqui apresentadas como residencial, privado, público, etc. são para melhor entendimento e para o melhor diagnóstico dos setores mais críticos.

De acordo com a metodologia GPC, as cidades devem reportar os gases de efeito estufa por alcance e por setor. Para facilitar a organização e não repetir a contagem em determinados processos, as atividades são divididas em três escopos, de acordo com alcance destas emissões. São eles:

- **Escopo 1:** Emissões de GEE de fontes localizadas dentro dos limites da cidades.

- **Escopo 2:** Emissões de GEE que ocorrem como consequência do uso da eletricidade fornecida do grid, calor, vapor ou frio dentro dos limites da cidade.
- **Escopo 3:** Todas as outras emissões de GEE que ocorrem fora dos limites da cidade como resultado de atividades que ocorrem dentro dos limites da cidade.

A depender do quanto a cidade consegue cobrir com as fontes de emissões dos escopos 1, 2 e 3, o reporte pode ser classificado em dois níveis, o nível BÁSICO e o BÁSICO+. O BÁSICO cobre as fontes de emissão que se produzem em quase todas as cidades que são as de energia estacionária, as de transporte e resíduos gerados dentro dos limites da cidade e contam com uma metodologia de cálculo disponível de maneira mais acessível. Será esse o adotado para este inventário.

O nível BÁSICO+ tem uma cobertura mais completa das fontes de emissão que são todas as fontes de emissão do nível BÁSICO mais IPPU, AFOLU, transporte transfronteiriço, perdas de transmissão e distribuição de energia. Tudo isto representa um maior desafio nos procedimentos para obter e compilar os dados.

Para que fosse possível a realização deste inventário, a cidade contou com o apoio técnico facilitado pelo Pacto Global de Prefeitos pelo Clima e Energia, através de diversas sessões de acompanhamento individual com a equipe da cidade. Além do acompanhamento também houve um momento de capacitação sobre inventário, plantões de dúvidas, além de terem sido facilitados documentos e ferramentas de cálculos para ajudar no cálculo das emissões. O detalhamento da metodologia estará a continuação.

3. ENERGIA ESTACIONÁRIA

Baseando-se pela metodologia GPC, as emissões das fontes estacionárias são as emissões de GEE que provêm da queima de combustíveis, assim como de emissões fugitivas liberadas no processo de geração, entrega e consumo de formas úteis de energia (como a eletricidade e o calor).

Foram segregadas em Residencial, Comercial e Industrial, e também divididas pela fonte de energia, sendo aqui considerados a energia elétrica da rede, diesel e GLP.

3.1. Queima de combustíveis

As emissões de CO₂ resultantes da combustão de biomassa não são incluídas, mas devem ser informadas separadamente, uma vez que são caracterizadas como "Emissões Biogênicas" e fazem parte do ciclo natural do carbono, diferentemente do CO₂ emitido na queima de combustíveis fósseis.

Também são contabilizadas aqui as queimas de GLP e diesel para uso industrial. Os dados de poder calorífico, densidades e fator de emissão foram baseados no Balanço Energético Nacional (BEN, 2016) e IPCC 2006.

Os dados dos combustíveis diesel, GLP, gasolina e etanol (os dois últimos para o setor de transportes) foram fornecidos pela ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis).

Foi utilizada a seguinte equação para os cálculos:

$$E_g = C * FC * FE_g$$

Em que:

- g – Índice que denota um tipo de GEE, neste caso, CO₂, CH₄ ou N₂O ;
- $E_{i,g,y}$ – Emissões do GEE g ;

- **C** – Consumo do combustível em m³ ou kg;
- **FC** – Fator de conversão da atividade em TJ/m³ ou TJ/kg;
- **FE_g** – Fator de emissão do GEE g aplicável ao combustível t GEE/TJ;

3.2. Energia Elétrica

Os dados do consumo de energia elétrica foram facilitados pela Empresa Energisa Sergipe - Distribuidora de Energia S.A. Para as emissões proveniente do consumo de energia elétrica foi utilizado o fator de emissão facilitado pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação e poder ser observadas na tabela a seguir:

Tabela 1 - Fatores de emissão para o consumo de energia da rede elétrica para cada mês do ano.

<i>Mês</i>	Fatores de Emissão (tCO ₂ /MWh)
<i>Janeiro</i>	0,0732
<i>Fevereiro</i>	0,0503
<i>Março</i>	0,0406
<i>Abril</i>	0,0216
<i>Maio</i>	0,0280
<i>Junho</i>	0,0441
<i>Julho</i>	0,0419
<i>Agosto</i>	0,0457
<i>Setembro</i>	0,0491
<i>Outubro</i>	0,0471
<i>Novembro</i>	0,0402
<i>Dezembro</i>	0,0294

Fonte: MCTI, 2023

As emissões deste setor são classificadas como de escopo 2. Os resultados poderão ser apreciados a continuação.

3.3. Resultados

O setor residencial se destaca como o principal contribuinte, totalizando 2.312,80 tCO₂e, o que sugere que medidas direcionadas a esse setor podem ter um impacto significativo na redução das emissões totais.

Além disso, a iluminação pública também apresenta uma contribuição considerável, com 233,75 tCO₂e, destacando a importância de estratégias de eficiência energética nesse aspecto, conforme pode ser observado no gráfico 01.

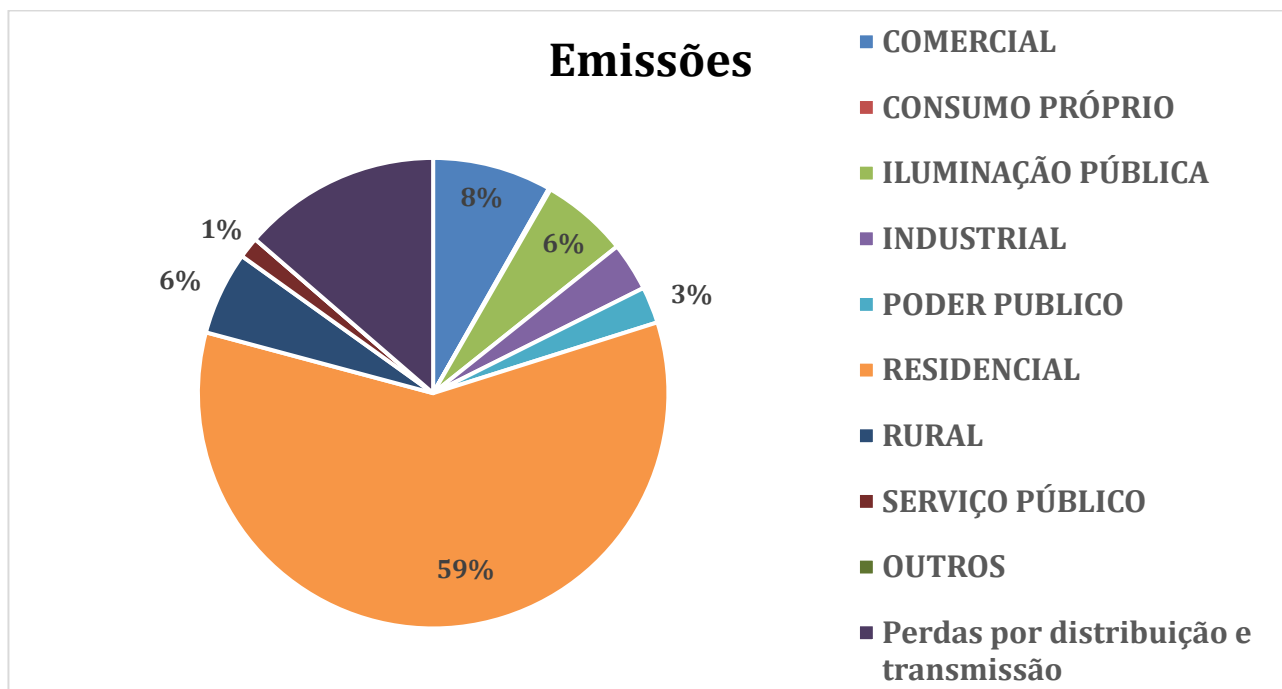


Gráfico 01: Emissões provenientes do uso de eletricidade da rede segregados por setor.

No entanto, outros setores também têm sua parcela significativa de emissões. O setor comercial, por exemplo, contribui com 321,06 tCO₂e, indicando a necessidade de abordagens específicas para reduzir as emissões provenientes destas atividades. O setor industrial, com 130,62 tCO₂e, também merece atenção devido à sua contribuição substancial para as emissões totais.

As perdas por distribuição e transmissão, totalizando 90,40 tCO₂e, destacam a importância de melhorias na infraestrutura de distribuição de energia para reduzir as perdas e, consequentemente, as emissões associadas. Além disso, embora o setor de consumo próprio represente uma parcela relativamente pequena das emissões totais, ainda é importante considerar medidas de redução neste setor, especialmente se houver potencial para implementar práticas mais sustentáveis.

É importante notar que algumas fontes, como os serviços públicos e o poder público, têm contribuições modestas em comparação com outros setores, mas ainda assim desempenham um papel na pegada de carbono total da região. Portanto, estratégias para reduzir as emissões nesses setores também devem ser consideradas como parte de uma abordagem abrangente para mitigar o impacto ambiental.

Desta forma, ao analisar os resultados encontrados fica evidente que existem diversas fontes de emissão que contribuem para o total de 3.473,50 tCO₂e.

4. TRANSPORTES

Para as emissões do setor de transportes foi utilizado o Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa com a abordagem TOP-DOWN. Esta abordagem começa com o consumo de combustíveis como indicador para o perfil de viagens da cidade. As emissões são o resultado do total de combustível vendido multiplicado por um fator de emissão de GEE para cada combustível.

4.1. Rodoviário

Para o cálculo das emissões de Gases de Efeito Estufa do setor de transportes, foi estimado a partir da venda de combustível no ano de 2022 na cidade, segregado por tipo de combustível (e.g. Óleo Diesel, Gasolina Comum, Gasolina A, Etanol, Biodiesel e outros).

Foi utilizada a seguinte fórmula para o cálculo dessas emissões:

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

Em que:

- i – Índice que denota o tipo de combustível;
- g – Índice que denota um tipo de GEE;
- y – Ano de referência do relatório (2022);
- $E_{i,g,y}$ – Emissões ou remoções do GEE g atribuíveis à fonte i durante o ano y , em tCO_2e ;
- $C_{i,y}$ – Consumo do combustível i para o ano y , na unidade de medida u , sendo u m^3 ou kg ;
- $PCI_{i,y}$ – Poder calorífico Interno do combustível i para o ano y , na unidade de medida TJ/u ;

- $FE_{i,g,y}$ – Fator de emissão do GEE g aplicável ao combustível i no ano y , em $t\ GEE\ g/TJ$;
- PAG_g – Potencial de aquecimento global do GEE g , em $tCO_2e/t\ GEE\ g$.

Para g , os gases emitidos são CO_2 , CH_4 e N_2O .

De acordo com a metodologia Top-down, as emissões provenientes do consumo de combustíveis de biomassa são informadas, porém não são contabilizadas no total de emissões do setor energético (SIRENE).

Devido a legislação brasileira, a porcentagem obrigatória de etanol anidro combustível que deve ser adicionado na gasolina é de 27% e de biodiesel no diesel é de 10%, ambos para o ano de 2022.

4.2. Resultados

As emissões associadas ao consumo de diferentes tipos de combustíveis revela uma distribuição desigual das emissões de gases de efeito estufa. A gasolina e o diesel emergem como os principais contribuintes, representando uma parcela significativa do total de 49.523,12 tCO₂e, conforme gráfico 02. Esses combustíveis fósseis são conhecidos por sua alta intensidade de carbono e, portanto, suas emissões contribuem significativamente para o aquecimento global e as mudanças climáticas. Da mesma forma, o diesel é responsável por uma quantidade significativa de emissões, o que sublinha a importância de estratégias para reduzir a dependência desse combustível, seja por meio de tecnologias mais limpas de transporte ou pela transição para fontes de energia alternativas.

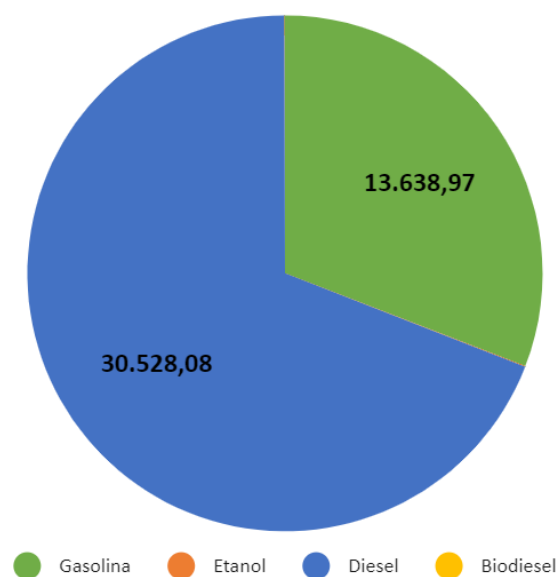


Gráfico 02: Emissões provenientes do uso de combustíveis.

Embora o etanol e o biodiesel, que são fontes biogênicas, contribuam com quantidades relativamente menores de emissões em comparação com a gasolina e o diesel, ainda é crucial considerar seu impacto ambiental, especialmente à luz das metas de redução de emissões e da necessidade de promover uma transição para uma economia de baixo carbono.

5. RESÍDUOS

Os resíduos sólidos estão classificados quanto ao tipo de resíduo e a sua destinação final. Os resíduos domiciliares são coletados por empresa terceirizada contratada. O seu destino final é o aterro sanitário localizado na cidade de Rosário do Catete, o que implica que cabe dentro do escopo.

5.1. Disposição de Resíduos sólidos

Para realização dos cálculos das emissões de metano proveniente da disposição de resíduos foi utilizado o método de estimação do potencial de geração de metano baseado na massa de carbono orgânico degradável, como sugere o método padrão do IPCC. Este método pode ser utilizado para estimação das emissões de metano gerados como resultado da decomposição de materiais orgânicos durante um só ano, neste caso, o ano de 2022.

$$Emissões\ de\ metano\left(\frac{ton}{ano}\right)=\left(\frac{MSW_T * MCF * DOC * DOC_f * F * 16}{12}-R\right) * (1- OX)$$

Em que:

- **Emissões de metano** – Emissões de CH₄ em ton/ano;
- **MSW_T** – Total de resíduos sólidos gerados em ton;
- **MCF** – Fator de correção de metano;
- **DOC** – Carbono orgânico degradável;
- **DOC_f** – Fração de DOC dissimilado;
- **F** – Fração de CH₄ no biogás;
- **16/12** – Razão de conversão de carbono (C) a metano (CH₄);
- **R** – Recuperação de metano em ton/ano;
- **OX** – Fator de oxidação durante o ano em questão, (fração).

A partir da tabela a seguir é possível obter o Fator de Correção do Metano de acordo com o tipo de local de disposição do resíduo.

Tabela 5 – Valores para Fator de Correção do Metano (FCM), de acordo com o recomendado pelo IPCC

<i>Valores para Fator de Correção do Metano (FCM ou MCF)</i>	
<i>Tipo de local de disposição</i>	FCM
<i>Aterro Sanitário</i>	1
<i>Aterro Controlado</i>	0,8
<i>Vazadouros a céu aberto (lixão)</i>	0,4
<i>Local sem categoria</i>	0,6

Fonte: IPCC, 2000.

Carbono Orgânico Degradável – DOC

Para calcular o DOC é necessário saber a composição do resíduo calculado a partir da média ponderada da fração de carbono de diversos tipo de resíduos segregados em papéis e têxteis, resíduos alimentares, madeira, resíduos de jardins e parques, fraldas, borracha e couro. Como não há dados de composição gravimétrica dos resíduos a nível local, será realizada então uma estimativa a partir dos dados do Relatórios de Referência dos Inventários Nacionais de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa.

Neste relatório foram analisadas diferentes composições de resíduos desde 1970 até 2016 totalizando 520 cidades. Os dados podem ser conferidos na tabela.

Tabela 6 – Composições dos resíduos por unidade federativa.

UF	Papel*	Têxteis	Restos de Alimento	Madeira	Restos de poda	Fralda descartável	Borracha e Couro	Plásticos	Outros
Percentual (%)									
AC	22,5 (10,0 - 33,7)	1,2 (0 - 2,6)	45,2 (19,1 - 58,7)	2,0 (0 - 4,6)	0,4 (0 - 1,9)	0,1 (0 - 1,1)	0,6 (0 - 1,7)	9,9 (1,5 - 18,0)	18,1 (7,7 - 39,8)
AL	19,3 (6,2 - 33,7)	1,8 (0 - 3,2)	46,4 (19,1 - 72,7)	1,5 (0 - 4,6)	0,4 (0 - 1,9)	-	0,4 (0 - 1,2)	10,2 (1,5 - 21,4)	19,7 (10,6 - 36,1)
AM	22,7 (10,0 - 33,7)	1,3 (0 - 2,6)	45,0 (19,1 - 58,7)	2,1 (0,1 - 4,6)	0,4 (0 - 1,9)	0,1 (0 - 1,1)	0,6 (0 - 1,7)	10,0 (1,5 - 18,5)	17,9 (7,7 - 39,8)
AP	22,4 (10,0 - 33,7)	1,2 (0 - 2,6)	45,1 (19,1 - 58,7)	2,0 (0 - 4,6)	0,4 (0 - 1,9)	0,1 (0 - 1,1)	0,6 (0 - 1,7)	9,8 (1,5 - 18,0)	18,4 (7,7 - 39,8)
BA	19,1 (5,3 - 33,7)	1,8 (0 - 4,2)	46,0 (19,1 - 72,7)	1,2 (0 - 4,6)	0,4 (0 - 1,9)	0,7 (0 - 6,5)	0,4 (0 - 1,5)	10,4 (1,5 - 21,7)	19,8 (8,9 - 36,1)
CE	19,1 (2,4 - 33,7)	1,6 (0 - 4,2)	46,0 (19,1 - 72,7)	1,2 (0 - 4,6)	0,6 (0 - 1,9)	0,3 (0 - 3,4)	0,4 (0 - 0,9)	9,6 (1,5 - 16,4)	21,0 (10,6 - 43,6)
DF	21,8 (11,7 - 33,7)	1,7 (0,1 - 3,6)	37,7 (19,1 - 51,3)	1,7 (0,1 - 4,6)	-	-	1,2 (0,1 - 2,6)	3,8 (0,2 - 7,5)	31,6 (24,3 - 36,6)
ES	22,0 (10,7 - 33,7)	1,2 (0 - 2,5)	47,7 (19,1 - 63,4)	1,1 (0 - 4,6)	0,6 (0 - 2,2)	0,1 (0 - 1,1)	0,3 (0 - 1,2)	10,2 (1,5 - 20,9)	16,5 (8,0 - 36,1)
GO	21,1 (4,5 - 33,7)	2,0 (0 - 5,9)	40,2 (19,1 - 68,2)	1,7 (0 - 4,6)	0,1 (0 - 1,1)	0,1 (0 - 2,7)	1,1 (0 - 2,6)	6,1 (0,2 - 16,4)	27,3 (5,9 - 37,4)
MA	18,9 (5,8 - 33,7)	1,6 (0 - 4,2)	47,0 (19,1 - 76,2)	1,1 (0 - 4,6)	0,6 (0 - 1,9)	0,4 (0 - 3,4)	0,4 (0 - 0,9)	9,7 (1,5 - 16,4)	20,2 (5,9 - 36,1)
MG	20,8 (8,8 - 33,7)	1,1 (0 - 2,0)	49,0 (19,1 - 68,1)	0,9 (0 - 4,6)	0,7 (0 - 4,5)	0,1 (0 - 1,1)	0,2 (0 - 0,6)	9,2 (1,5 - 20,9)	18,2 (3,4 - 41,7)
MS	20,3 (11,4 - 33,7)	2,0 (0 - 4,7)	44,8 (19,1 - 66,4)	1,6 (0 - 4,6)	0,1 (0 - 0,9)	0,1 (0 - 0,8)	1,0 (0 - 2,6)	7,8 (0,2 - 18,4)	22,1 (1,8 - 38,0)
MT	21,0 (10,7 - 33,7)	3,1 (0 - 12,1)	35,5 (19,1 - 51,3)	1,9 (0 - 4,6)	0,8 (0 - 6,0)	-	1,1 (0 - 2,6)	7,9 (0,2 - 16,7)	28,4 (7,2 - 47,1)
PA	22,1 (4,0 - 33,7)	1,2 (0 - 2,6)	44,8 (19,1 - 58,7)	1,9 (0 - 4,6)	0,4 (0 - 1,9)	0,1 (0 - 1,1)	0,6 (0 - 1,7)	9,7 (1,5 - 18,0)	19,3 (7,7 - 43,2)
PB	18,9 (3,7 - 33,7)	1,7 (0 - 5,9)	46,7 (19,1 - 72,7)	1,2 (0 - 4,6)	0,5 (0 - 1,9)	0,7 (0 - 7,9)	0,4 (0 - 0,9)	9,4 (0 - 24,8)	20,3 (8,1 - 39,3)
PE	19,6 (6,2 - 33,7)	1,4 (0 - 4,2)	47,9 (19,1 - 72,7)	1,1 (0 - 4,6)	0,5 (0 - 1,9)	0,2 (0 - 3,4)	0,3 (0 - 0,7)	8,8 (1,5 - 16,4)	20,0 (10,6 - 36,1)
PI	19,1 (6,2 - 33,7)	1,7 (0 - 4,2)	46,1 (19,1 - 72,7)	1,2 (0 - 4,6)	0,6 (0 - 1,9)	0,4 (0 - 3,4)	0,4 (0 - 0,9)	9,8 (1,5 - 16,4)	20,5 (10,6 - 36,1)
PR	18,2 (8,6 - 33,7)	1,8 (0 - 4,3)	43,1 (19,1 - 67,1)	1,0 (0 - 4,6)	1,2 (0 - 11,9)	0,8 (0 - 8,4)	0,8 (0 - 2,8)	10,1 (1,5 - 18,2)	23,2 (12,0 - 40,1)
RJ	27,0 (11,1 - 44,0)	1,8 (0 - 4,3)	41,0 (0 - 61,4)	1,6 (0 - 7,1)	2,0 (0 - 5,9)	0,1 (0 - 1,1)	0,4 (0 - 1,0)	11,7 (1,5 - 21,1)	14,4 (5,1 - 50,0)
RN	19,0 (5,1 - 33,7)	1,9 (0 - 4,2)	42,0 (19,1 - 72,7)	1,2 (0 - 4,6)	1,6 (0 - 10,6)	0,2 (0 - 3,4)	0,4 (0 - 0,7)	9,9 (1,5 - 16,4)	23,7 (10,6 - 41,9)
RO	22,4 (10,0 - 33,7)	1,2 (0 - 2,6)	45,2 (19,1 - 58,7)	2,0 (0 - 4,6)	0,4 (0 - 1,9)	0,1 (0 - 1,1)	0,6 (0 - 1,7)	10,0 (1,5 - 18,0)	18,1 (7,7 - 39,8)
RR	22,5 (10,0 - 33,7)	1,2 (0 - 2,6)	45,0 (19,1 - 58,7)	2,0 (0 - 4,6)	0,4 (0 - 1,9)	0,1 (0 - 1,1)	0,6 (0 - 1,7)	10,0 (1,5 - 19,0)	18,2 (7,7 - 39,8)
RS	18,5 (10,0 - 33,7)	2,6 (0,1 - 8,5)	42,6 (19,1 - 58,4)	1,1 (0 - 4,6)	0,9 (0 - 11,9)	0,6 (0 - 8,4)	0,7 (0 - 2,8)	9,5 (1,5 - 20,9)	23,7 (9,0 - 40,1)
SC	19,9 (11,2 - 33,7)	2,1 (0,4 - 4,3)	40,7 (19,1 - 59,3)	1,1 (0,1 - 4,6)	1,8 (0 - 11,9)	1,3 (0 - 8,4)	1,0 (0,1 - 2,8)	10,9 (1,5 - 18,1)	21,3 (8,5 - 40,1)
SE	19,1 (6,2 - 33,7)	1,9 (0 - 9,1)	46,2 (19,1 - 72,7)	1,1 (0 - 4,6)	0,6 (0 - 1,9)	0,4 (0 - 3,4)	0,4 (0 - 0,9)	10,0 (1,5 - 18,5)	20,3 (4,8 - 36,1)
SP	19,1 (9,2 - 30,5)	1,6 (0 - 9,7)	50,0 (31,0 - 68,8)	1,0 (0 - 4,3)	0,1 (0 - 1,6)	0,1 (0 - 5,2)	0,2 (0 - 0,9)	11,1 (1,5 - 21,7)	16,8 (2,2 - 37,6)
TO	22,4 (6,9 - 33,7)	1,2 (0 - 2,6)	45,5 (19,1 - 79,6)	1,9 (0 - 4,6)	0,4 (0 - 1,9)	0,1 (0 - 1,1)	0,6 (0 - 1,7)	10,0 (1,5 - 25,2)	17,9 (4,0 - 39,8)

* Os valores representados são os observados e estimados a partir da literatura nacional conforme descrito no texto. Mais detalhes na Tabela 36 e Tabela 37. Revisão bibliográfica da composição gravimétrica municipal no Brasil. do Apêndice A.

Fonte: MCTI, 2020.

Fração do DOC dissimilado – DOC_f

É sugerido o valor padrão de 0,5 para os países em desenvolvimento e adotado para todos os anos segundo o IPCC (2006).

Fração de CH₄ no biogás – F

Pode variar entre 40 e 60%, segundo o IPCC (2006). O padrão é de 50% é o valor que será considerado para os cálculos.

CH₄ recuperado – R

Para as cidades que não dispõem de um sistema de reaproveitamento de biogás, este valor será 0.

Fator de Oxidação - OX

Segundo o IPCC (2006), para cidades com população urbana menos que 1.000.000 de habitantes, o fator de oxidação é 0.

Tabela 7 - Fator de Oxidação em função da população urbana.

Tipos de local	População urbana	Fator de Oxidação – OX
Manejados não cobertos com material oxidante, não manejados e não categorizados	Menor que 1.000.000 hab	0
Manejados, cobertos com material oxidante de CH ₄	Maior que 1.000.000 hab	0,1

Fonte: IPCC, 2006.

5.2. Resíduos Especiais

Os resíduos da área da saúde são encaminhados para uma empresa de incineração especializada neste tipo de resíduos. As emissões reportadas para este tipo de atividade são as de CO₂ e as de N₂O e são calculadas pelas fórmulas seguintes:

$$EmissõesdeCO_2 \left(\frac{CO_2}{ano} \right) = \sum_i \left(\frac{IW_i * CCW_i * FCF_i * EF_i * 44}{12} \right)$$

E

$$EmissõesdeN_2O \left(\frac{N_2O}{ano} \right) = \sum_i (IW_i * EF_i) * 10^{-6}$$

Em que:

- IW_i – Resíduo incinerado por tipo i em Gg/ano.
- CCW_i – Carbono contido no resíduo tipo i em GgC/Ggresíduo.
- FCF_i – Fração de carbono fóssil no resíduo do tipo i (adimensional).
- EF_i – Eficiência de queima dos incineradores (adimensional).
- $44/12$ – Conversão de C para CO_2 .
- 10^6 – Fator de conversão de Gg para kg.
- i – HW ou CW.

Para realizar este cálculo foi utilizado o Relatório de Referência do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, publicado em 2015 com o título de Terceiro Inventário Brasileiros de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa.

Segundo este relatório, os valores para CCW e FCF para a incineração de resíduos hospitalares são $60 \text{ g}_C/\text{g}_{\text{resíduo}}$ e 40%, respectivamente. A eficiência dos incineradores será considerada de 95% como recomenda o MCTI.

Para as emissões de N_2O é necessário a quantidade de resíduos incinerados e o fator de emissão, sendo esta valor considerado de $100 \text{ g. } N_2O/(\text{ton.resíduo})$, conforme tabela abaixo.

Tabela 8 - Fator de emissão para o N_2O

Tipo de incinerador/Tipo de resíduo	MSW (Resíduo Sólido Urbano)	HW (Resíduos perigosos)
g N_2O /ton resíduo		
Incinerador do tipo batelada	60	Não disponível
Tipo de incineração	Não Disponível	100

Fonte: IPCC, 2006.

5.3. Tratamento e Afastamento de Efluentes Líquidos

Para a população não atendida pela rede de tratamento, foi considerada a tecnologia de tratamento em fosse séptica. O CH₄ produzido em tratamento em fosse séptica é calculado por (MCTI, 2015):

$$E_{CH_4} = (População * D_{dom} * B_0 * \sum_x (WS_{i,x} MCF_x) - R$$

Em que:

- *População* – (1000.habitantes)
- *E_{CH₄}* – Quantidade de CH₄ gerada ao ano (kg/ano);
- *D_{dom}* – Componente orgânico degradável do esgoto (kgDBO/(1000hab.ano));
- *y* – Ano de referência do relatório (2022);
- *B₀* – Capacidade máxima de produção de CH₄ (kg/DBO);
- *WS_{i,x}* – Fração de esgoto do tipo “i” tratada usando o sistema “x” (adimensional);
- *MCF_x* – Fator de conversão de CH₄ do sistema “x” (adimensional);
- *R* – CH₄ recuperado ao ano (kg/ano).

As emissões de metano foram estimadas como recomenda o IPCC (2006) a partir de dados de população, de geração de carga orgânica por habitante ao dia e a correspondente fração desse esgoto que é degradada anaerobicamente.

A carga orgânica diária por habitante padrão é de 54g DBO/(hab.dia). A capacidade máxima de produção foi de 0,60 DBO/(hab.dia), como recomenda o IPCC (2006). O fator de conversão do metano (MCF) pode ser observado na tabela abaixo.

Tabela 9 – Fatores de conversão de CH₄ - MCF.

Fatores de conversão de CH ₄ - MCF	
Tipo de tratamento e destino do efluente ou sistema alternativo	
Sistema sem rede coletora	MCF
Fossas sépticas e Sumidouros	0,5
Fossa secas	0,1
Vala aberta	0,1
Lançamento em cursos d'água sem coleta	0,1
Sistema com rede coletora	MCF
Lodo ativado/digestor anaeróbio	0,8
Fossa Séptica	0,5
Reator anaeróbio	0,2
Lagoa Anaeróbia	0,8
Lagoa facultativa	0,2
Lagoa de maturação	0,2
Lançamento em cursos d'água com coleta	0,1

Fonte: IPCC, 2006.

Para o termo **R**, que corresponde à recuperação do metano, seu valor é 0 quando a cidade não possui nenhum sistema de recuperação deste gás. Com estes dados de entrada foram estimadas as emissões.

Para as emissões de N₂O de efluentes lançados em corpos d'água, seu valor se dá pela seguinte equação:

$$E_{N_2O} = (População * CP * Frac_{NPR} * EF_{efluente} * 44/28)$$

Em que:

- E_{N_2O} – Emissões anuais de N₂O do esgotamento urbano em kg/ano;
- $População$ – Em habitantes;
- CP – Consumo anual de proteína per capita em kg/(habitante.ano);

- $Frac_{NPR}$ – Fração de N na proteína;
- $EF_{efluente}$ – Fator de emissão de N_2O .

Como referência, também foi utilizada a publicação do MCTI de 2015 usada para o metano. O Consumo de proteína aqui utilizado foi o de 84,5 g/(pessoa.dia). A fração de N na proteína utilizada foi de 0,16 kgN/proteína, como recomenda o IPCC de 2006. O fator de emissão, também padrão do IPCC de 2006, é de 0,005 kg N_2O .N/kgN. Com estes valores de entrada foram calculadas as emissões das águas residuárias.

5.4. Resultados

Os resíduos sólidos urbanos emergem como a principal fonte de emissões, totalizando 59.190,02 tCO_{2e}. Isso ressalta a importância de abordagens eficazes de gestão de resíduos, incluindo a redução na fonte, a reciclagem e a compostagem, para minimizar as emissões de metano e dióxido de carbono associadas à decomposição anaeróbica de resíduos orgânicos em aterros sanitários. Os resíduos especiais, com 2.040,49 tCO_{2e}, também contribuem para as emissões totais, embora em uma escala menor em comparação com os resíduos sólidos urbanos. Esses resíduos podem incluir materiais perigosos ou não convencionais que requerem tratamento especializado para evitar impactos ambientais adversos, incluindo a emissão de gases de efeito estufa, conforme gráfico 03.

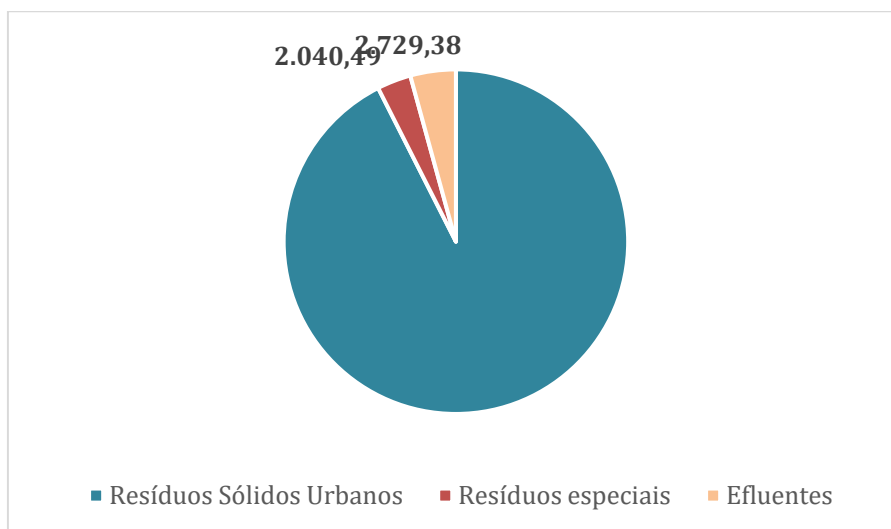


Gráfico 03: Emissões provenientes do uso de combustíveis.

Os efluentes, com 2.729,38 tCO₂e, representam outra fonte significativa de emissões associadas ao tratamento de águas residuais. As emissões de gases de efeito estufa podem ocorrer durante processos biológicos, como a decomposição anaeróbica de matéria orgânica, bem como devido à liberação de gases dissolvidos na água durante o tratamento. Esses resultados destacam a importância de adotar práticas de gestão de resíduos e tratamento de águas residuais que minimizem as emissões de gases de efeito estufa. Isso pode incluir investimentos em infraestrutura de reciclagem e compostagem, tecnologias avançadas de tratamento de resíduos e efluentes, e políticas que incentivem a redução na fonte e a adoção de práticas sustentáveis de gestão de resíduos.

Além disso, a recuperação de energia a partir de resíduos sólidos e efluentes pode ajudar a mitigar as emissões, ao mesmo tempo em que contribui para a segurança energética e a redução da dependência de combustíveis fósseis. Essas abordagens integradas são essenciais para reduzir o impacto ambiental dos resíduos sólidos e efluentes e avançar em direção a uma economia circular e de baixo carbono.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados do inventário de gases de efeito estufa destaca a necessidade de uma abordagem multifacetada para reduzir as emissões em diferentes setores. Isso pode incluir melhorias na eficiência energética, adoção de energias renováveis, atualizações de infraestrutura e colaboração entre partes interessadas para alcançar metas de redução de emissões e mitigar os impactos das mudanças climáticas. Estando em consonância com os seguintes Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis, 7 - Energia limpa e acessível e 13 - Ação contra a mudança Global do clima.

É crucial reconhecer a importância do inventário como uma ferramenta fundamental para entender o perfil de emissões da cidade. Através deste inventário, foi possível identificar as principais fontes de emissão, fornecendo uma base sólida para o desenvolvimento de medidas de redução de emissões eficazes e direcionadas.

Entre as principais fontes de emissão identificadas, destacam-se os setores de transporte, juntamente com a gestão de resíduos sólidos. No setor de transporte, as emissões provenientes do uso de gasolina e diesel são particularmente preocupantes, indicando a necessidade de investir em alternativas de transporte mais limpas, como veículos elétricos e transporte público sustentável. Além disso, as emissões associadas à gestão de resíduos sólidos, incluindo resíduos sólidos urbanos e resíduos especiais, ressaltam a importância de adotar práticas de gestão de resíduos mais sustentáveis, como a reciclagem, compostagem e recuperação de energia.

Tabela 10 – Quadro resumo dos resultados encontrados

Setor	Atividade	tCO ₂ e	Representatividade	Representatividade
Energia Estacionária	Queima de diesel	107,36	0%	8%
	Queima de GLP	5.215,01	4%	
	Consumo da rede	3.917,91	3%	
Transporte	Gasolina	14.046,72	12%	38%
	Etanol*	38,47	0%	
	Diesel	30.528,08	26%	
	Biodiesel*	18,47	0%	
Resíduos	Disposição final	59.190,02	50%	54%
	Incineração	2.040,49	2%	
	Disposição e tratamento	2.729,38	2%	
Total		117.831,90	100%	100%

* Fontes biogênicas.

O número elevado de emissão para os resíduos sólidos urbanos pode ser atribuído ao conteúdo do material que é coletado e destinado ao aterro sanitário. Haja vista, que o cálculo de emissão é baseado no volume total destes resíduos. No município de São Cristóvão, os resíduos de construção civil, que são considerados volumosos, são coletados com os resíduos urbanos e encaminhados ao aterro sanitário. Além destes, os resíduos de grandes geradores (granjas, indústrias, mercados e supermercados) também possuem o mesmo destino. A falta de uma política municipal específica é um fator para que o volume destinado aos aterros seja maior que o que deveria.

No que tange ao setor de transporte, o elevado índice para o diesel e a gasolina pode refletir a existência da BR-101 cortando o território do município e contando com inúmeros postos de combustíveis em sua extensão. Ainda, o município tem uma característica geográfica que o divide em dois núcleos urbanos distantes. Este fator, contribui para maior movimentação de automóveis dentro dos limites municipais. Outro fator, com menor contribuição, seria a utilização de motores a diesel em barcos e bombas de carcinicultura.

De forma geral, o inventário de gases de efeito estufa forneceu uma base sólida para a construção de um Plano Local de Ações Climáticas e tomada de decisões sobre a mitigação das mudanças climáticas na cidade. E ainda, ao priorizar as principais fontes de emissão identificadas e implementar medidas específicas em setores-chave, é possível avançar em direção a uma economia mais sustentável e resiliente, reduzindo simultaneamente o impacto das mudanças climáticas e promovendo o bem-estar da comunidade local.

7. REFERÊNCIAS

CETESB, 2013. Emissões do Setor de Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos (2009-2010).

IPCC 2006. Environmental Protection Agency (EPA). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Disponível em: <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>>

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2015 (MCTI, 2015). Terceiro Inventário Brasileiro De Emissões E Remoções Antrópicas De Gases De Efeito Estufa - Setor Agropecuária. São Paulo

SIRENE. Relatórios de Referência dos Inventários Nacionais de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Disponível em: <https://sirene.mctic.gov.br/portal/opencms/textoGeral/2018/10/11/Relatorios_de_Referencia_do_II_Inventario_Brasileiro_de_Emissoes_e_Remocoes_Antropicas_de_Gases_de_Efeito_Estufa.html>.

MCTI 2023. Fatores de Emissão. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>>. Acesso em: 21 ago. 2023.

A presente publicação foi elaborada com o apoio financeiro da União Europeia. O seu conteúdo é da exclusiva responsabilidade da Prefeitura Municipal de São Cristóvão - Sergipe e não reflete necessariamente os pontos de vista da União Europeia.

**SÃO
CRISTÓVÃO**
PREFEITURA
Cidade Mãe de Sergipe



APOIO



Financiado pela
União Europeia



GLOBAL COVENANT
of MAYORS for
CLIMATE & ENERGY
LATIN AMERICA



Associação
Brasileira
de Municípios

INSTITUTO
Alziras

