

SISCLIMA

SISTEMA DE MONITORAMENTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

MONITORAMENTO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO **2012 A 2019**



PLANEJAMENTO
URBANO

INSTITUTO
PEREIRA
PASSOS

DATA.RIO
INFORMAÇÕES SOBRE A CIDADE

SIURB
Sistema Municipal de
Informações Urbanas



MEIO
AMBIENTE





SISCLIMA

SISTEMA DE MONITORAMENTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

MONITORAMENTO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO **2012 A 2019**

SETEMBRO 2021



PLANEJAMENTO
URBANO

INSTITUTO
PEREIRA
PASSOS

DATA.RIO
INFORMAÇÕES SOBRE A CIDADE



MEIO
AMBIENTE





PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO
Eduardo Paes | PREFEITO

INSTITUTO PEREIRA PASSOS

Washington Fajardo | DIRETOR-PRESIDENTE

Diretoria Executiva

Carlos Krykhtine

Coordenadoria Técnica de Informações da Cidade

Felipe Mandarin

Gerência de Estudos Ambientais e das Mudanças Climáticas

Patrícia Turano de Carvalho

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE

Eduardo Cavaliere Gonçalves Pinto | SECRETARIO

Subsecretaria de Transição Verde

Ruan Fernandes Lira

Gerência de Mudanças Climáticas

José Miguel Osório de Castro Carneiro Pacheco

SECRETARIA MUNICIPAL DE FAZENDA E PLANEJAMENTO

Pedro Paulo Carvalho Teixeira | SECRETARIO

Subsecretaria de Planejamento e Acompanhamento de Resultados

Jean Leonardus Caris

Escritório de Planejamento

Daniel Gleidson Mancebo de Araujo

Carlos Augusto Góes

AGRADECIMENTOS

Fontes de dados internas:

- Secretaria Municipal de Meio Ambiente - SMAC
- Companhia Municipal de Limpeza Urbana - COMLURB
- Fundação Parques e Jardins
- Fundação Rio-Águas

Fontes de dados externas:

- Air Liquide Brasil
- Air Products
- Ambev Vidros
- Agência Nacional do Petróleo - ANP
- Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro - CEDAE
- Departamento de Trânsito do Estado do Rio de Janeiro - DETRAN-RJ
- EMATER-RJ
- FURNAS
- Gerdau Aços Brasil
- IBG - Indústria Brasileira de Gases
- Instituto Estadual do Ambiente - INEA
- Light
- Linde Gás
- MetrôRio
- Naturgy
- Owens Illinois
- Refinaria de Manguinhos
- Schott Brasil
- Secretaria de Agricultura, Pecuária, Pesca e Abastecimento do Estado do Rio de Janeiro - SEAPPA
- Supervia
- Ternium
- Usina Verde
- VLT Carioca
- White Martins Gases Industriais Ltda
- Zona Oeste Mais

Apoio

- Grupo C40 de Grandes Cidades para a Liderança Climática

Projeto Gráfico

- Cláudio Novaes | ASCOM/IPP

VERSÃO 1.0

Setembro de 2021

INSTITUTO PEREIRA PASSOS

www.rio.rj.gov.br/web/ipp

Sumário

1. INTRODUÇÃO	9
2. METODOLOGIA	9
2.1. Gases estimados e potencial de aquecimento global	11
2.2. Coleta e tratamento dos dados	11
2.3. Cálculo das emissões.....	11
3. RESULTADOS DE 2018	12
4. RESULTADOS DE 2019	13
5. RESULTADOS SÉRIE HISTÓRICA REVISADA	15
5.1 Resultados Gerais	15
5.2 Resultados do Setor de Energia Estacionária	18
5.3 Resultados do Setor de Transportes	20
5.4 Resultados do Setor de Resíduos.....	21
5.5 Resultados do Setor de IPPU	23
5.6 Resultados do Setor de AFOLU	24
6. ANÁLISE COM FATOR DE EMISSÃO DA ELETRICIDADE CONSTANTE	25
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
8. REFERÊNCIAS	30

1. Introdução

Este documento apresenta uma atualização dos inventários de emissões de gases de efeito estufa (GEE) da cidade do Rio de Janeiro, que consiste em cálculos inéditos para os anos de 2018 e 2019 e revisão dos cálculos para os anos de 2012 a 2017. Dessa forma, primeiramente serão apresentados os novos resultados e em seguida toda a série histórica revisada.

O monitoramento das emissões de GEE da cidade é um dos principais produtos do Sistema de Monitoramento Climático – SISCLIMA, de acordo com o Decreto Rio nº 48.941 de 4 de junho de 2021, que estabeleceu o Programa de Governança Climática da Cidade do Rio de Janeiro.

Além disso, os resultados aqui apresentados estão alinhados com importantes compromissos e planos da cidade, tais como:

- **Lei 5.248/2011** – Estabelece a Política Municipal de Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável, incluindo a obrigatoriedade de realização de inventários a cada quatro anos a partir de 2012.
- **Grupo C40 de Cidades para Liderança Climática** – O compromisso de participação da cidade com a rede é de realizar inventários de emissões de GEE a cada dois anos, ao menos, sendo o último não mais antigo que três anos.
- **Pacto Global de Prefeitos pelo Clima e Energia** – Através desse pacto a cidade se compromete a submeter inventário de emissões de GEE atualizado a cada dois anos.
- **Plano de Desenvolvimento Sustentável e Ação Climática e Plano Estratégico** – o monitoramento das emissões é imprescindível para a definição e revisão das trajetórias visando o alcance das metas de redução das emissões da cidade para 2024, 2030 e 2050, que por sua vez estão alinhadas com os objetivos do acordo de Paris.

Este documento representa uma atualização do relatório “*Monitoramento das Emissões de Gases de Efeito Estufa da Cidade do Rio de Janeiro - 2012 a 2017: Apresentação dos Resultados*”, disponível no portal [Data.Rio](#).

2. Metodologia

Para a elaboração dos inventários de 2018 e 2019, assim como no ciclo de inventários anterior, a metodologia adotada foi a GPC - *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emissions Inventories* (Protocolo Global para Inventários de GEE na Escala de Comunidade, em tradução livre). Ela foi desenvolvida pela C40, pelo *World Resources Institute* - WRI e pelo ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade para solucionar conflitos encontrados na estimativa de emissões de GEE em escalas subnacionais (especialmente de fronteiras) e permitir comparação e agregação de inventários entre diferentes cidades, estados, etc. Ela usa como base os manuais do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas da ONU - IPCC para inventários de GEE em nível nacional, porém adiciona diretrizes para contabilidade das emissões na escala local.

A metodologia GPC é a adotada pelas principais cidades, redes de cidades e plataformas de reporte do mundo. Nela, as emissões podem ser calculadas para um nível de reporte básico (Basic), contemplando emissões dos setores de Energia Estacionária, Transporte e Resíduos ou para nível de reporte básico ampliado (Basic+), que também inclui os setores de Agropecuária, Florestas e Uso do Solo (AFOLU) e Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU), além de exigir o cálculo e reporte de todas as fontes de emissão relevantes da cidade.

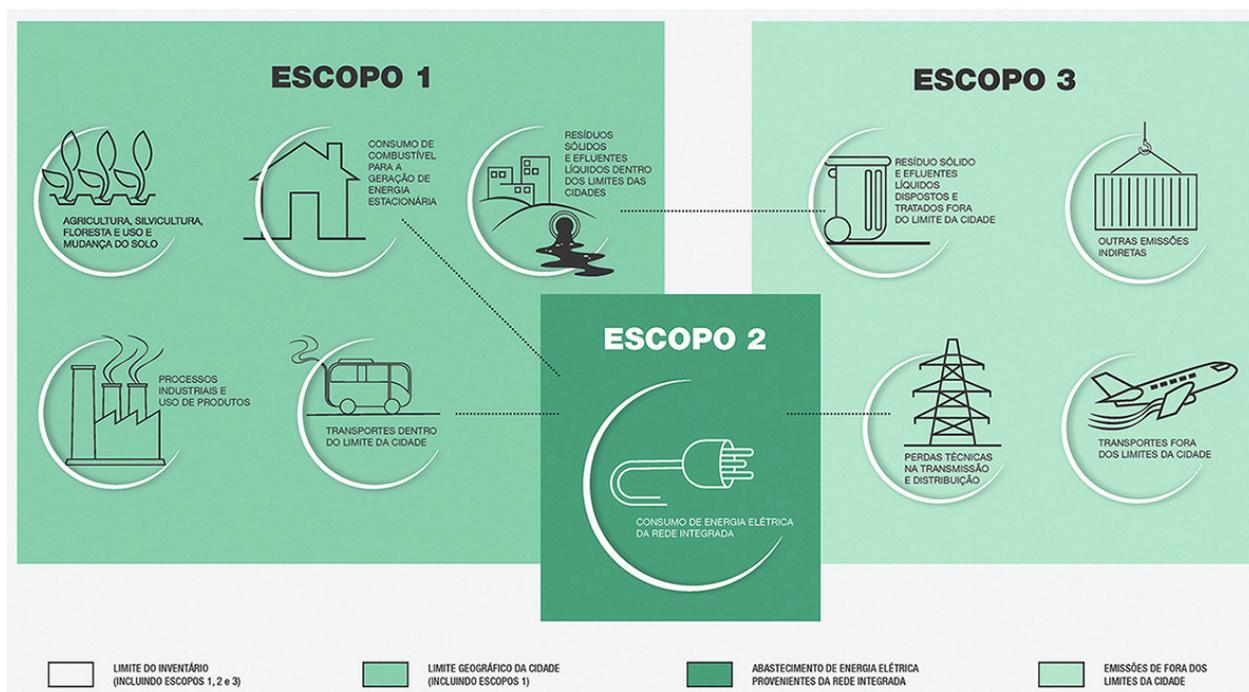
Tabela 1. Níveis de reporte na metodologia GPC

SETORES E NÍVEIS DE REPORTE
Energia Estacionária (Basic)
Transporte (Basic)
Resíduos (Basic)
Agropecuária, Florestas e Uso do Solo - AFOLU (Basic+)
Processos industriais e Uso de Produtos - IPPU (Basic+)

Fonte: WRI *et al*, 2014.

Para lidar com as dificuldades impostas pela questão dos limites administrativos ao calcular emissões de entes subnacionais, a metodologia GPC introduz a classificação das fontes de emissão em escopos (1, 2 ou 3), feita de acordo com sua localização geográfica (Figura 1). As emissões de **escopo 1** são as que ocorrem dentro dos limites da cidade. As emissões de **escopo 2** são exclusivamente as derivadas do consumo de energia elétrica fornecida por sistemas interligados de distribuição (grid), como é o caso do Brasil com o seu Sistema Interligado Nacional (SIN), e podem vir de dentro ou fora da cidade. As emissões de **escopo 3** são as que ocorrem a partir de fontes localizadas fora dos limites da cidade, porém em decorrência de atividades sob responsabilidade direta do município; no Rio de Janeiro, um exemplo são as emissões resultantes do aterramento de resíduos sólidos em centros de tratamento localizados em cidades vizinhas, como Seropédica.

Figura 1. Descrição da divisão de emissões por escopo, adaptado do manual GPC.



Fonte: WRI *et al*, 2014.

Desde seu primeiro inventário, a cidade do Rio de Janeiro calculou as emissões para os setores correspondentes ao nível Basic+. Nesta atualização, continua compilando inventários no nível Basic+ para todo o período, tendo eles sido verificados e aprovados pela C40 de acordo com este nível da metodologia GPC.

2.1. Gases estimados e potencial de aquecimento global

Foram computados os valores estimados de emissões de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) emitidos pelo município nos anos inventariados. Devido aos diferentes potenciais de aquecimento global (*Global Warming Potential* – GWP em inglês) foi realizada a conversão dos gases supracitados para o CO₂ equivalente (CO₂e) com base nos valores multiplicadores estabelecidos no quinto relatório do IPCC (AR-5): 1 para CO₂, 28 para CH₄ e 265 para N₂O.

2.2. Coleta e tratamento dos dados

A coleta de dados foi realizada com apoio da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMAC), através do envio de solicitações por e-mail ou ofícios, a depender da instituição fornecedora. O Sistema Municipal de Informações Urbanas (SIURB)¹ também tem sido cada vez mais usado para apoiar o processo de coleta.

Após recebimento dos dados, foi feita a conferência dos mesmos para verificar se mantêm coerência e consistência com a série histórica e com outros dados relacionados. Em alguns casos foram necessárias reuniões prévias às solicitações ou esclarecimentos sobre os dados enviados.

2.3. Cálculo das emissões

Com a posse dos dados relativos às atividades emissoras de gases do efeito estufa, são selecionados os Fatores de Emissão (FE) para cada atividade. Os fatores de emissão refletem a massa dos gases do efeito estufa relativos a uma unidade de atividade. No caso da eletricidade, por exemplo, depende da tecnologia e do combustível utilizado na geração. O total de emissões será obtido multiplicando-se o dado de atividade (por exemplo quantidade de combustível consumido) pelo fator de emissão (quantidade de gases emitida por unidade do combustível consumido).

Os fatores de emissão devem ser relevantes para os limites geográficos do inventário, específicos para a atividade medida e fornecidos por fontes confiáveis como governo, indústria ou academia. Se não for possível obter fatores de emissão específicos regionais ou nacionais, deve-se usar os valores padrão disponibilizados pelo IPCC ou outros valores internacionais que reflitam as circunstâncias específicas.

Para os cálculos e reporte das emissões foi utilizada a ferramenta *City Inventory Reporting and Information System – CIRIS* (Sistema de Reporte e Informação para Inventário de Cidade, em tradução livre), disponibilizada livremente pelo Grupo C40, e planilhas de apoio desenvolvidas pela própria equipe, além de planilha do modelo de decaimento de primeira ordem - *Waste Model* - fornecida pelo guia do IPCC para os cálculos das emissões do aterramento de resíduos sólidos em inventários nacionais.

1 Criado em 2014, o SIURB tem como finalidade reunir, gerir, integrar e atualizar o conjunto de informações sobre a cidade do Rio de Janeiro.

3. Resultados de 2018

Nesta seção é apresentado um resumo dos resultados do Inventário de Emissões de GEE da Cidade do Rio de Janeiro para o ano de 2018 (Tabela 2).

Tabela 2. Emissões de GEE (t CO₂e) da Cidade do Rio de Janeiro por setores e subsetores e por escopo - 2018

SETORES E SUBSETORES	ESCOPO 1	ESCOPO 2	ESCOPO 3	TOTAL
Energia Estacionária	4.489.400	1.481.836	166.683	6.137.918
Residencial	624.447	429.084	59.562	1.113.093
Comercial e Institucional	202.738	635.999	87.172	925.909
Indústrias de manufatura e construção	3.575.584	141.031	19.807	3.736.421
Indústrias de energia	18.442	319	IE	18.761
Agropecuário	0	1.022	142	1.164
Perdas comerciais de energia elétrica + outros	4.240	274.381	IE	278.621
Emissões fugitivas das atividades de óleo e gás	63.949			63.949
Transportes	4.272.455	26.687	2.601.043	6.900.185
Rodoviário	4.232.622	IE	IE	4.232.622
Ferroviário	4.210	26.687	5.196	36.092
Aquaviário	35.622	0	417	36.039
Aéreo	IE	0	2.595.431	2.595.431
Resíduos	906.364	0	2.215.797	3.122.161
Aterramento	438.749		2.214.793	2.653.542
Compostagem	77		NO	77
Incineração e Queima à Ceu Aberto	2.681		1.004	3.684
Esgotos e efluentes	464.858		NO	464.858
Processos Industriais e Uso de Produtos	3.111.996			3.111.996
Produção de vidro	30.532			30.532
Produção de aço	3.007.186			3.007.186
Uso de lubrificantes e parafinas	17.288			17.288
Uso de óxido nitroso	56.990			56.990
Agropecuária, Floresta e Uso do Solo	38.025			38.025
Fermentação entérica	9.069			9.069
Manejo de dejetos	543			543
Reflorestamento	-14.921			-14.921
Arborização urbana	-6.401			-6.401
Mudança de uso do solo	41.016			41.016
Calagem	1.802			1.802
Aplicação de ureia	22			22
Emissões diretas de N ₂ O do manejo de solos	5.360			5.360
Emissões indiretas de N ₂ O do manejo de solos	1.497			1.497
Emissões indiretas de N ₂ O do manejo de dejetos	38			38
TOTAL	12.818.240	1.508.522	4.983.523	19.310.285
Geração de energia para o grid nacional	5.582.746			5.582.746

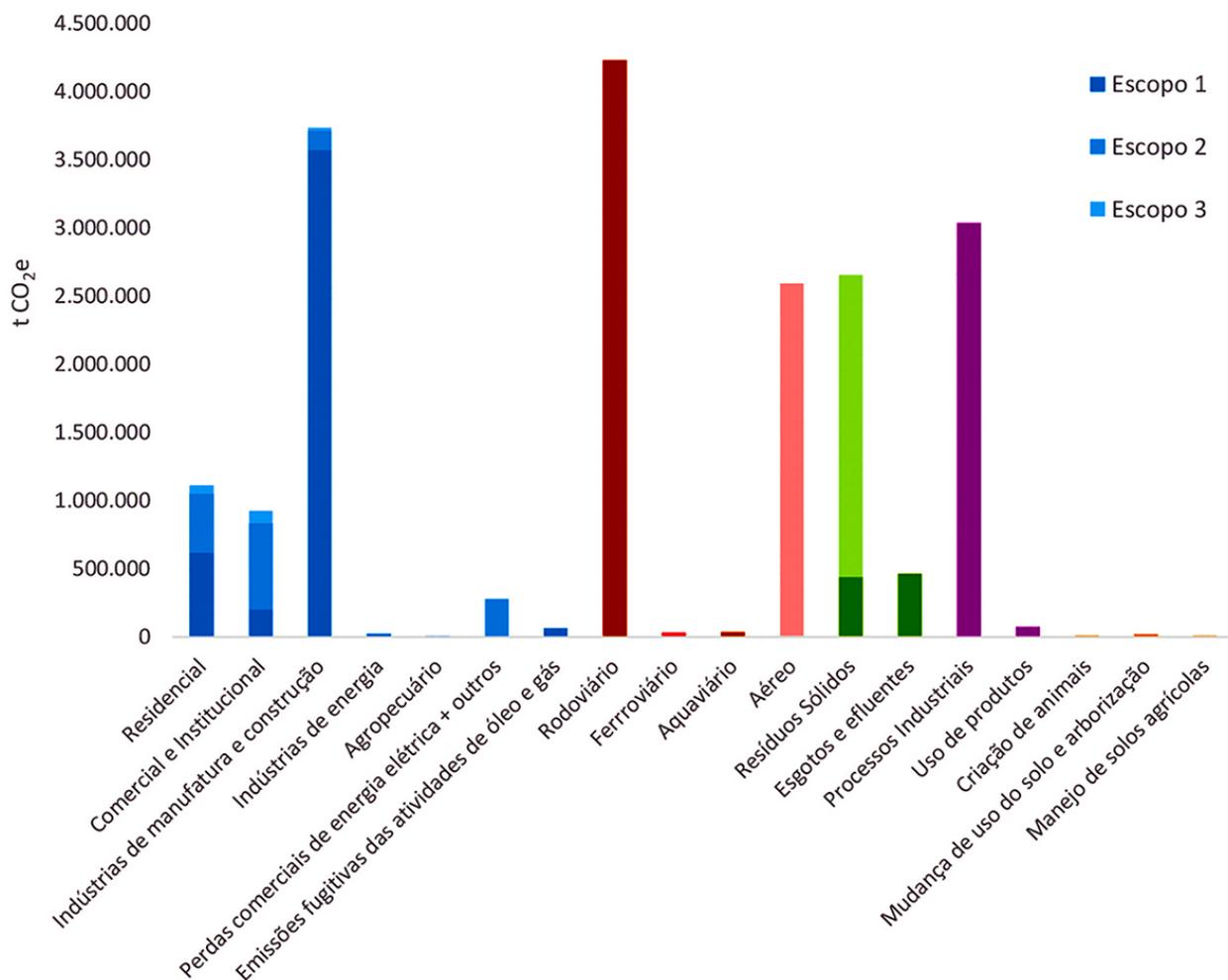
BASIC
 BASIC+
 Outras Escopo 3
 Fontes territoriais (não somam no total)
 Não aplicável

IE Incluso em outra categoria

NO Não ocorre

Em 2018, o transporte rodoviário se destacou como principal atividade emissora da cidade, seguida pelo consumo de energia da atividade industrial e construção civil, como apresentado na Figura 2.

Figura 2. Emissões de GEE (t CO₂e) da Cidade do Rio de Janeiro por subsetores e escopo - 2018



Fonte: elaboração própria.

4. Resultados de 2019

Nesta seção é apresentado um resumo dos resultados do Inventário de Emissões de GEE da Cidade do Rio de Janeiro para o ano de 2019 (Tabela 3).

Tabela 3. Emissões de GEE (t CO₂e) da Cidade do Rio de Janeiro por setores e subsetores e por escopo - 2019

SETORES E SUBSETORES	ESCOPO 1	ESCOPO 2	ESCOPO 3	TOTAL
Energia Estacionária	4.655.265	1.562.114	174.099	6.391.478
Residencial	590.111	437.938	61.972	1.090.021
Comercial e Institucional	215.519	659.932	92.149	967.600
Indústrias de manufatura e construção	3.747.100	138.834	19.924	3.905.858
Indústrias de energia	16.710	336	IE	17.046
Agropecuário	0	386	54	440

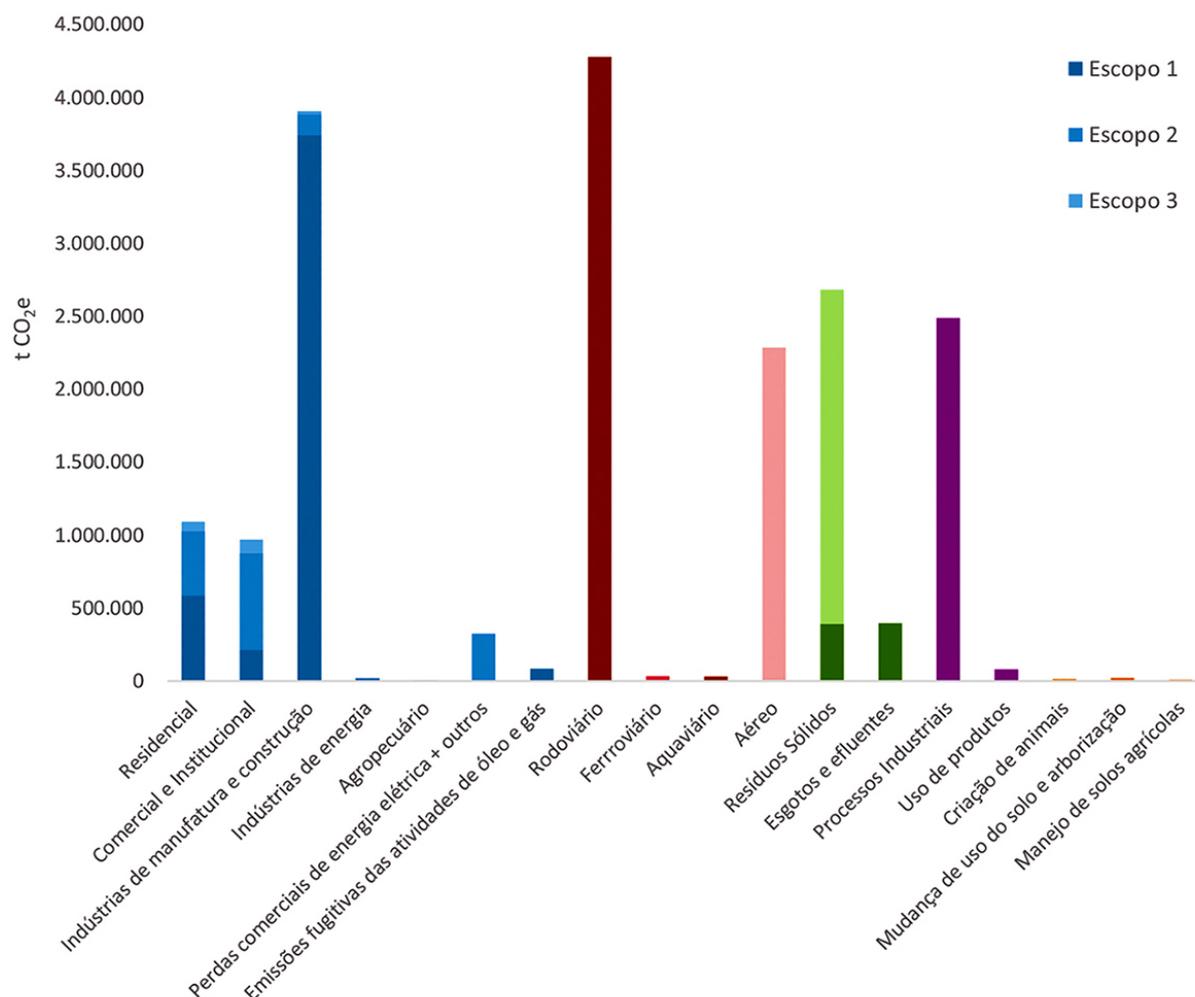
Perdas comerciais de energia elétrica + outros	680	324.687	IE	325.367
Emissões fugitivas das atividades de óleo e gás	85.145			85.145
Transportes	4.313.171	27.750	2.292.454	6.633.374
Rodoviário	4.278.375	IE	IE	4.278.375
Ferroviário	4.501	27.750	5.263	37.514
Aquaviário	30.294	0	319	30.613
Aéreo	IE	0	2.286.871	2.286.871
Resíduos	788.825	0	2.291.001	3.079.826
Aterramento	389.438		2.289.997	2.679.435
Compostagem	109		NO	109
Incineração e Queima à Céu Aberto	2.892		1.004	3.895
Esgotos e efluentes	396.386		NO	396.386
Processos Industriais e Uso de Produtos	2.568.550			2.568.550
Produção de vidro	47.966			47.966
Produção de aço	2.440.748			2.440.748
Uso de lubrificantes e parafinas	19.161			19.161
Uso de óxido nitroso	60.675			60.675
Agropecuária, Floresta e Uso do Solo	42.872			42.872
Fermentação entérica	9.747			9.747
Manejo de dejetos	2.155			2.155
Reflorestamento	-12.885			-12.885
Arborização urbana	-6.575			-6.575
Mudança de uso do solo	41.016			41.016
Calagem	1.955			1.955
Aplicação de ureia	23			23
Emissões diretas de N ₂ O do manejo de solos	5.654			5.654
Emissões indiretas de N ₂ O do manejo de solos	1.608			1.608
Emissões indiretas de N ₂ O do manejo de dejetos	173			173
TOTAL	12.368.682	1.589.863	4.757.554	18.716.099
Geração de energia para o grid nacional	4.883.007			4.883.007

BASIC
 BASIC+
 Outras Escopo 3
 Fontes territoriais (não somam no total)
 Não aplicável

IE Incluso em outra categoria

NO Não ocorre

Figura 3. Emissões de GEE (t CO₂e) da Cidade do Rio de Janeiro por subsetores e escopo – 2019



Fonte: elaboração própria.

5. Resultados da Série Histórica Revisada

Devido a alterações metodológicas e novos fatores de emissão adotados neste ciclo de inventários, toda a série histórica desde 2012 foi revisada. Além disso, houve melhorias de alguns dados de atividades, que também foram incorporadas para toda a série.

5.1 Resultados Gerais

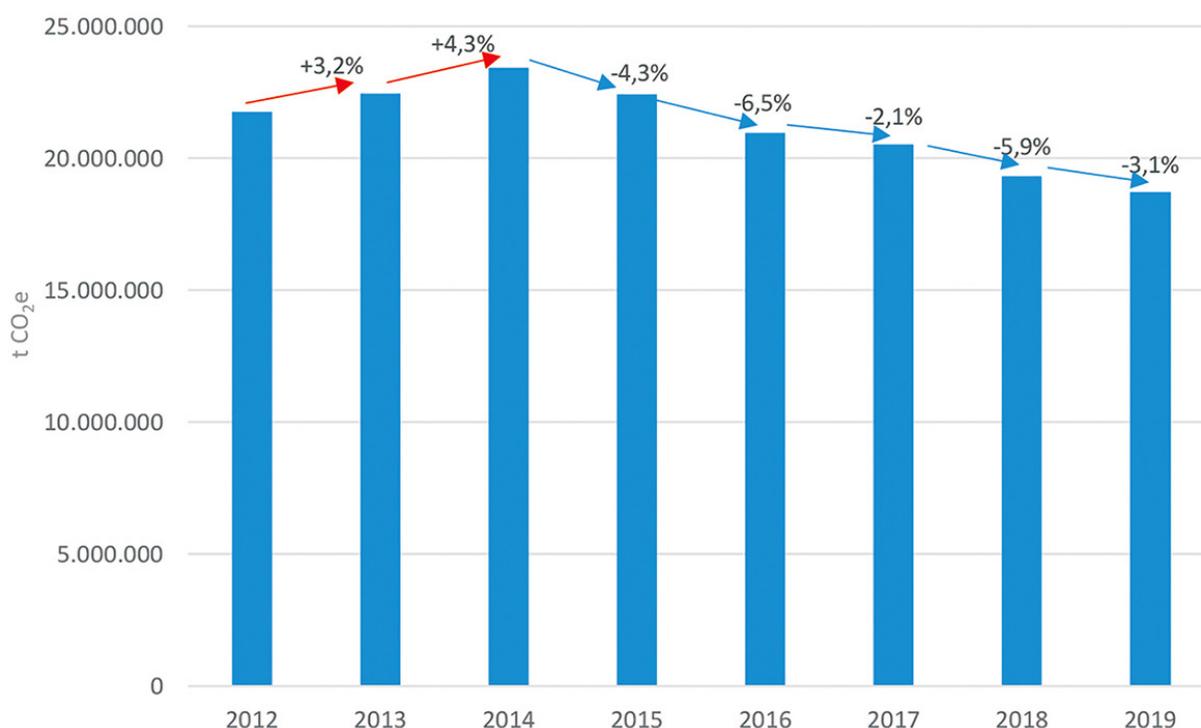
A Tabela 4 e a Figura 4 mostram a evolução das emissões, indicando uma trajetória de queda das mesmas a partir de 2015.

Tabela 4. Emissões de Gases de Efeito Estufa (t CO₂e) da Cidade do Rio de Janeiro por ano e por setores - 2012 a 2019.

Setores	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Energia Estacionária	6.953.722	8.054.199	8.992.891	8.445.489	7.167.782	7.191.590	6.137.918	6.391.478
Transporte	8.772.089	8.488.300	8.277.187	8.098.410	7.742.357	7.380.057	6.900.185	6.633.374
Resíduos	3.775.014	3.782.625	3.828.488	3.684.898	3.468.119	3.298.917	3.122.161	3.079.826
IPPU	2.232.524	2.117.397	2.311.917	2.156.602	2.551.043	2.608.969	3.111.996	2.568.550
AFOLU	22.940	16.917	17.455	32.532	38.042	42.966	38.025	42.872
Emissões totais	21.756.289	22.459.438	23.427.938	22.417.931	20.967.343	20.522.500	19.310.285	18.716.099

Fonte: Elaboração própria.

Figura 4. Evolução das emissões de Gases de Efeito Estufa (t CO₂e) da Cidade do Rio de Janeiro - 2012 a 2019.



Fonte: elaboração própria

De acordo com a Tabela 5 e a Figura 5, o setor de transportes vem se destacando como principal setor emissor ao longo de todo o período, com exceção dos anos de 2014 e 2015, nos quais o setor de energia estacionária foi o maior, impulsionado por um fator de emissão do consumo de energia elétrica significativamente maior que o dos anos anteriores e posteriores.

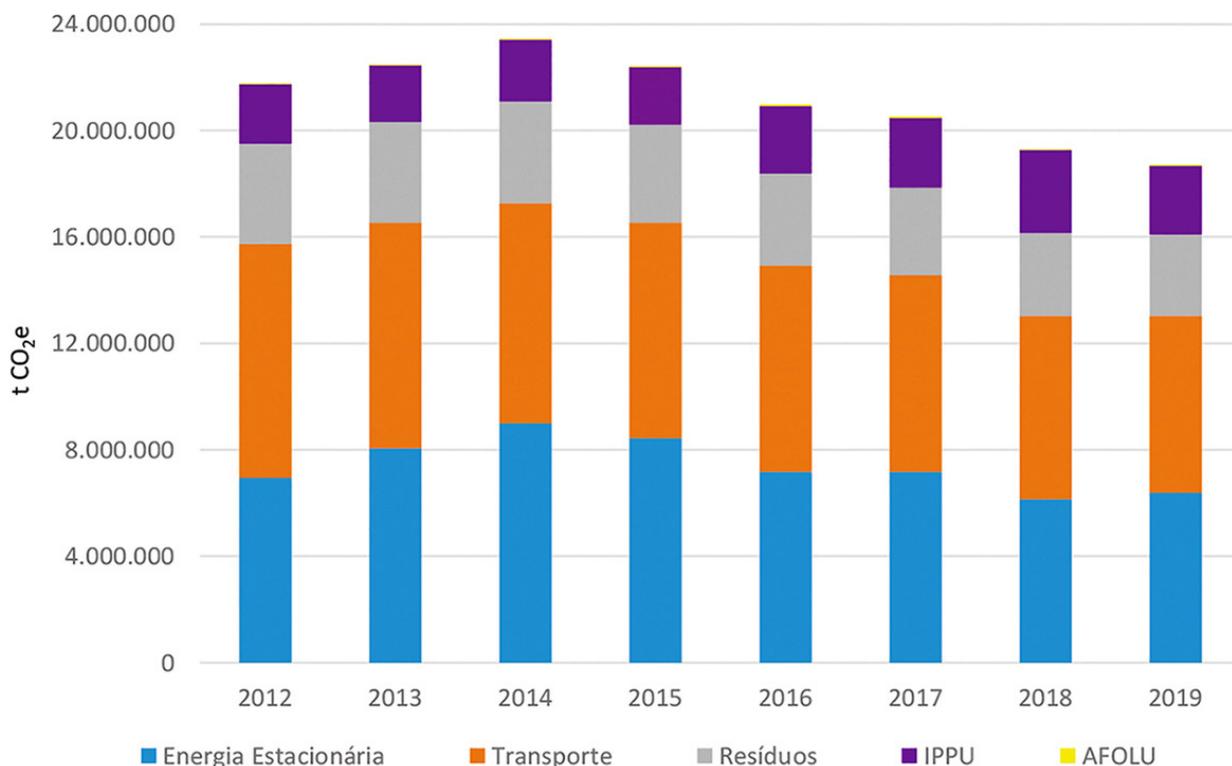
Tabela 5. Participação relativa dos setores nas emissões de GEE totais da Cidade do Rio de Janeiro - 2012 a 2019

Setores	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Energia Estacionária	31,9%	35,9%	38,4%	37,7%	34,2%	35,0%	31,8%	34,1%
Transporte	40,4%	37,8%	35,3%	36,1%	36,9%	36,0%	35,7%	35,4%
Resíduos	17,4%	16,8%	16,3%	16,4%	16,5%	16,1%	16,2%	16,5%
IPPU	10,3%	9,4%	9,9%	9,6%	12,2%	12,7%	16,1%	13,7%
AFOLU	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
Emissões totais	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Elaboração própria.

Juntos, os setores de transporte e energia estacionária representaram cerca de 70% das emissões da cidade ao longo de todo o período analisado.

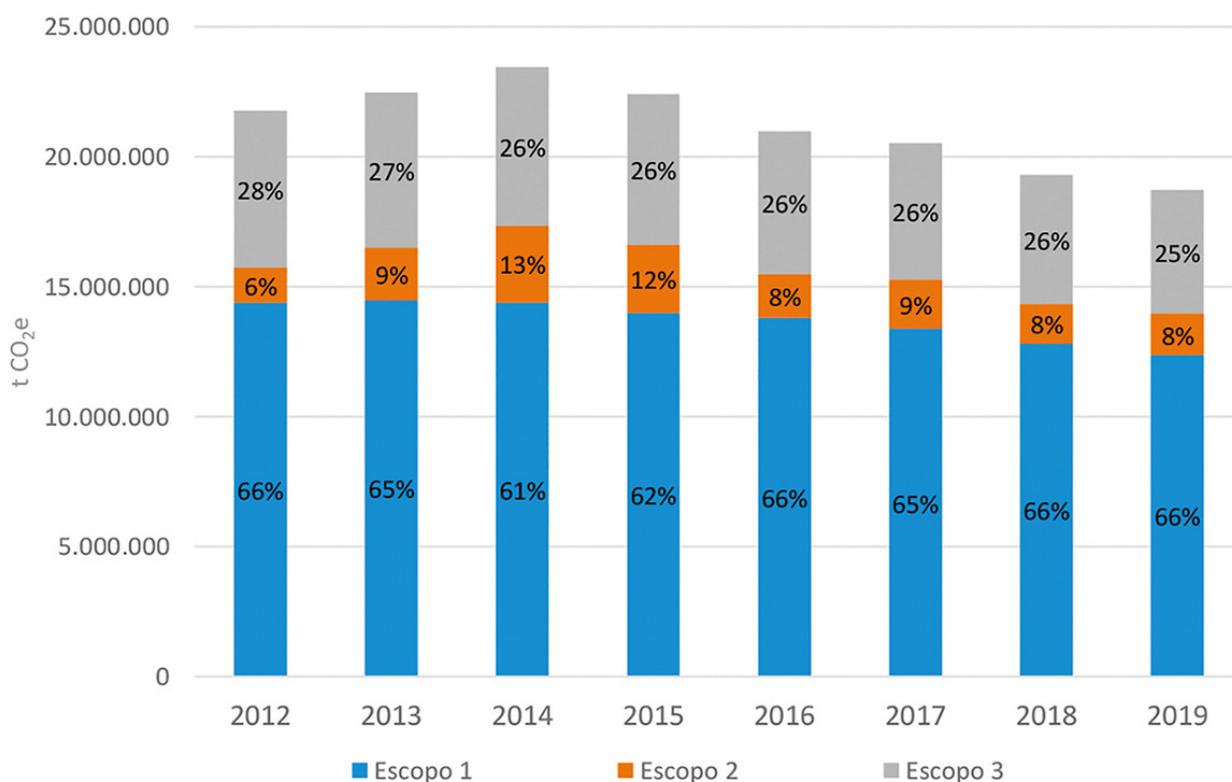
Figura 5. Participação relativa de cada setor nas emissões da cidade por ano - 2012 a 2019.



Fonte: elaboração própria.

O escopo 1 é onde estão alocadas a maioria das emissões de GEE – entre 61% e 66%, enquanto o escopo 3 alocou de 25 a 28% das emissões, conforme apresenta a Figura 6.

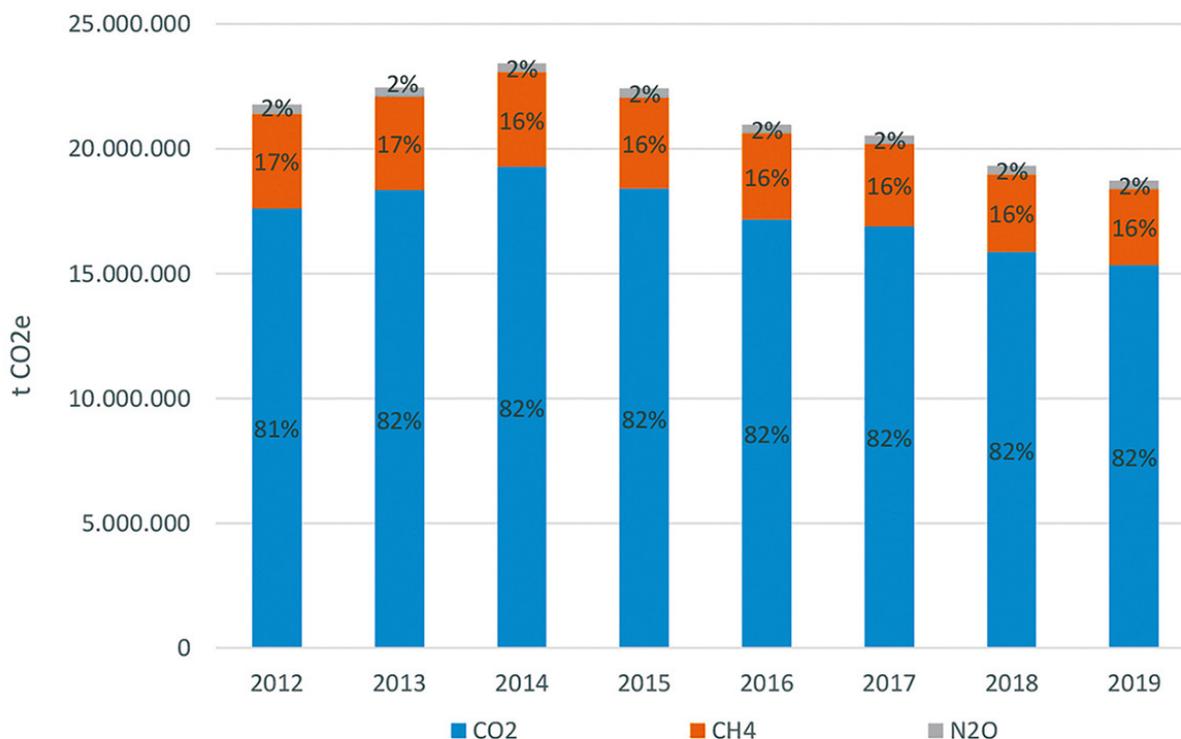
Figura 6. Distribuição das emissões de Gases de Efeito Estufa (t CO₂e) da Cidade do Rio de Janeiro por escopo por ano - 2012 a 2019.



Fonte: elaboração própria.

O dióxido de carbono correspondeu a mais de 80% das emissões ao longo de todo o período analisado, em comparação realizada com a estimativa feita em CO₂ equivalente (CO₂e) para os três GEE (Figura 7).

Figura 7. Distribuição das emissões de Gases de Efeito Estufa (t CO₂e) da Cidade do Rio de Janeiro por gás por ano - 2012 a 2019.



Fonte: elaboração própria.

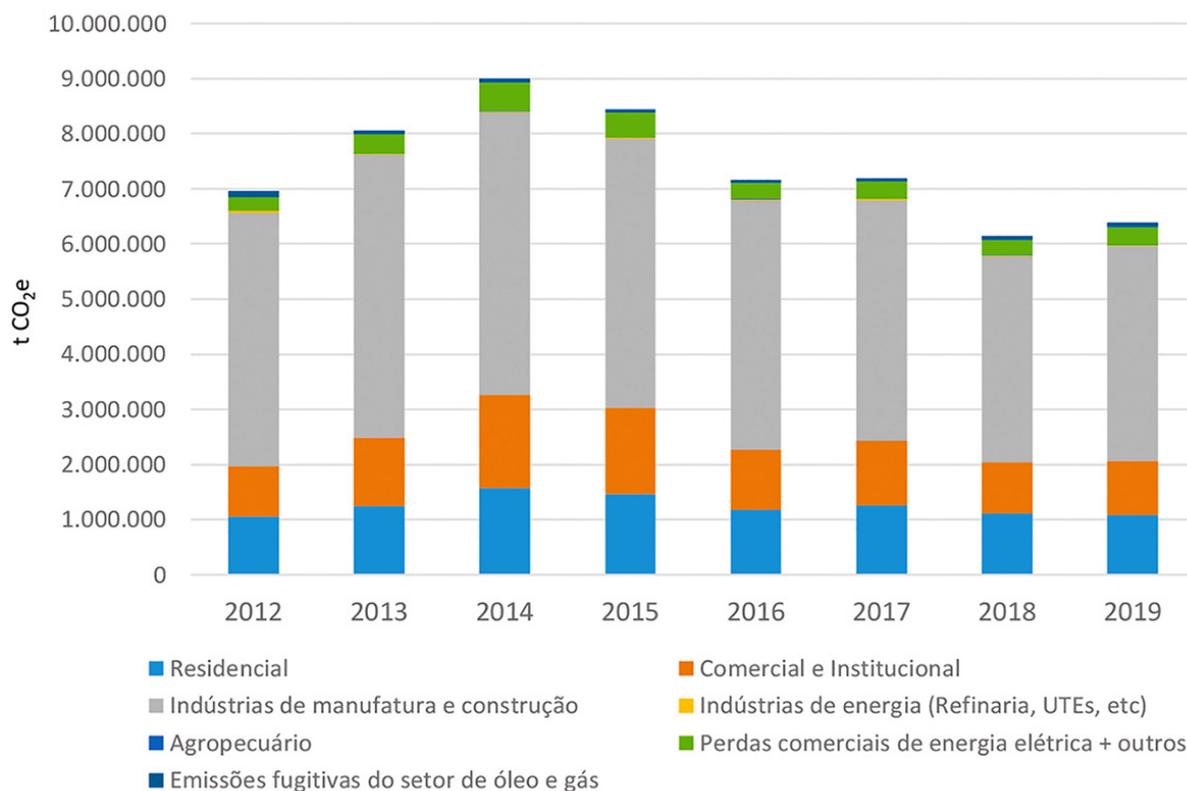
As emissões detalhadas por subsetor e por escopo ou GEE para todos os anos do período de 2012 a 2019 podem ser visualizadas através da tabela 3696, disponível no portal [Data.Rio](#).

5.2 Resultados do Setor de Energia Estacionária

Compreende emissões provenientes do consumo de combustíveis e energia elétrica em prédios, indústrias e atividades rurais, e da geração de eletricidade e transformação da energia, como, por exemplo, refino de petróleo. Nele são incluídas também as emissões fugitivas da distribuição e transmissão de energia elétrica e das atividades relacionadas a petróleo e gás. Este setor é classificado nos subsetores presentes na Figura 8 a partir da desagregação dos dados fornecidos pelas diversas fontes.

Na comparação das emissões entre os subsetores, o de Indústrias de Manufatura e Construção se destaca devido especialmente à atividade siderúrgica presente na cidade, por esta ser uma atividade industrial intensiva em consumo de energia. O pico de emissões em 2014 e 2015, principalmente nos subsetores residencial, comercial e institucional, tem muita influência do fator de emissão do consumo de eletricidade, como já mencionado.

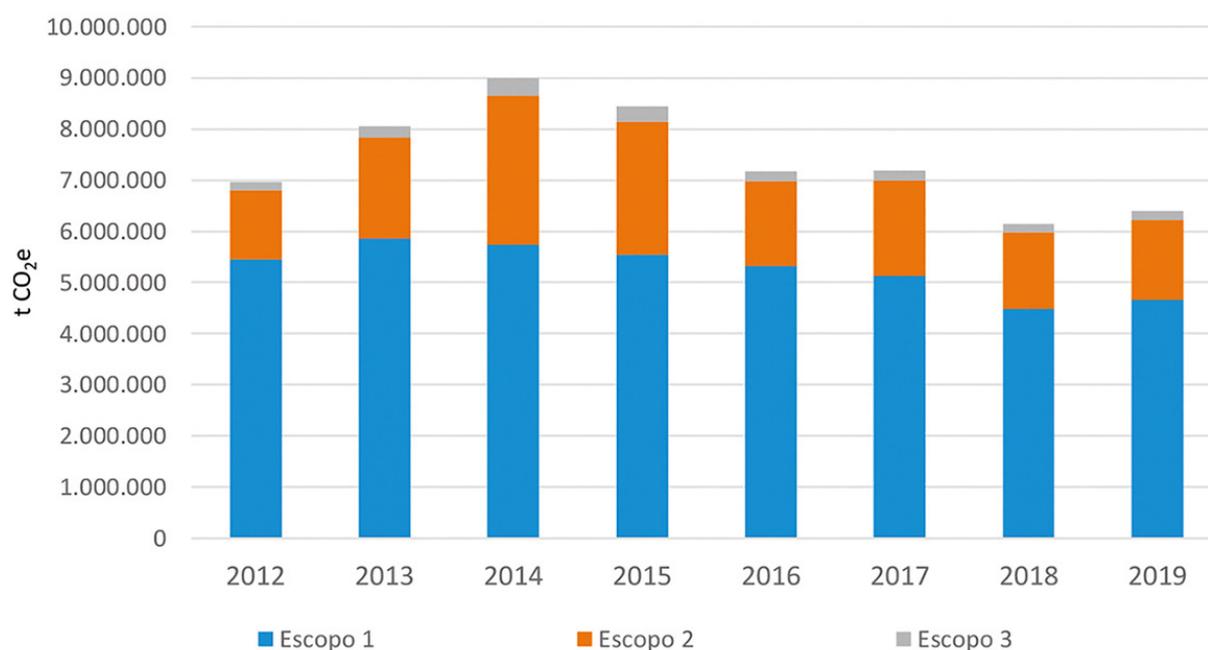
Figura 8. Emissões de energia estacionária (t CO₂e), por subsetor e ano - 2012 a 2019.



Fonte: elaboração própria.

A Figura 9 apresenta as emissões de energia estacionária por escopo. As emissões referentes ao consumo de combustíveis dentro dos limites municipais nos diferentes subsetores, assim como as emissões fugitivas, são reportadas no **escopo 1**, enquanto as emissões devido ao consumo de energia elétrica fornecida pelo Sistema Interligado Nacional (SIN) são reportadas no **escopo 2** e as perdas nas redes de transmissão e distribuição de eletricidade, no **escopo 3**.

Figura 9. Emissões de energia estacionária (t CO₂e), por escopo e ano - 2012 a 2019.



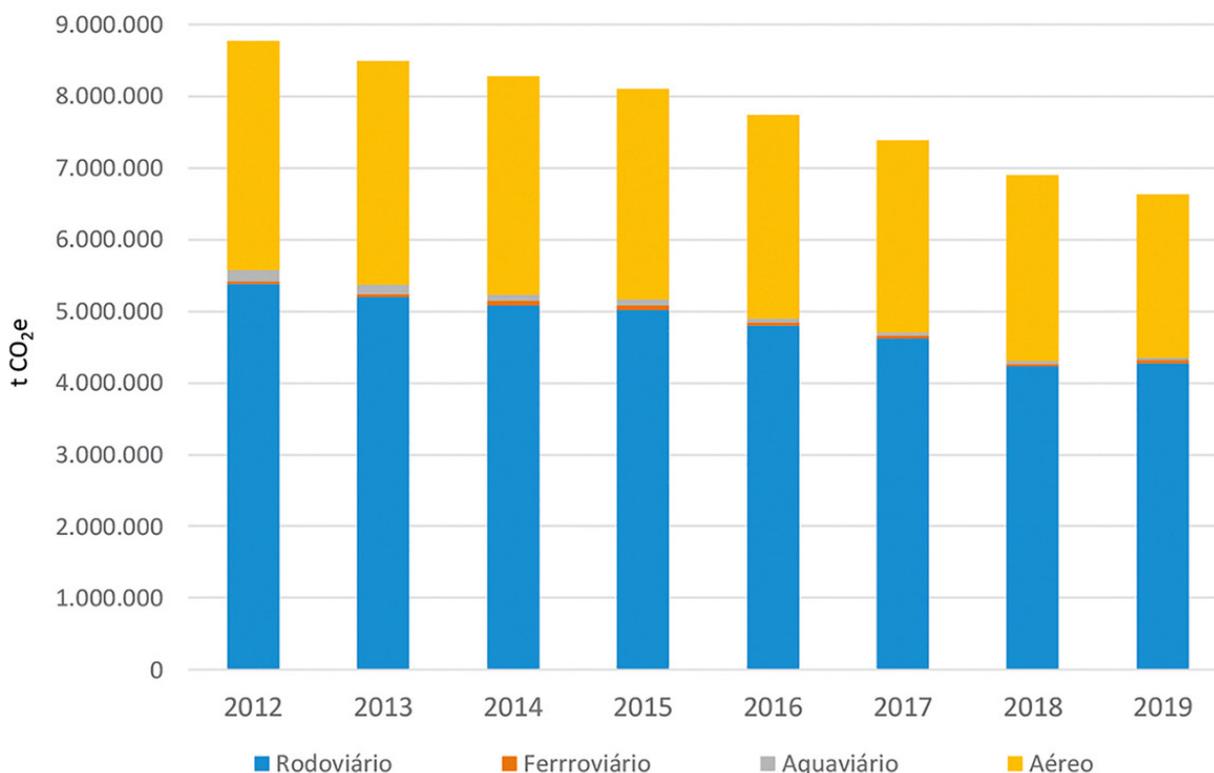
Fonte: elaboração própria.

5.3 Resultados do Setor de Transportes

As emissões do setor transportes são oriundas da queima de combustíveis fósseis (gasolina, etanol, óleo diesel, gás natural, etc.) nos motores dos veículos que circulam dentro do município e também do consumo de energia elétrica de metrô, trens, Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) e outros modais elétricos. Também integram este setor o consumo de combustíveis fósseis para o transporte aquaviário e aéreo. O histórico das emissões deste setor, classificadas pelos sub-setores, pode ser visto na Figura 10.

O transporte rodoviário se destaca como principal modal emissor, seguido pelo transporte aéreo. Esse padrão se mantém ao longo do período analisado, porém com ambos modais em queda nos últimos anos, exceto um pequeno aumento do modal rodoviário em 2019 em relação à 2018.

Figura 10. Emissões do setor de transportes (t CO₂e), por subsetor e ano – 2012 a 2019.

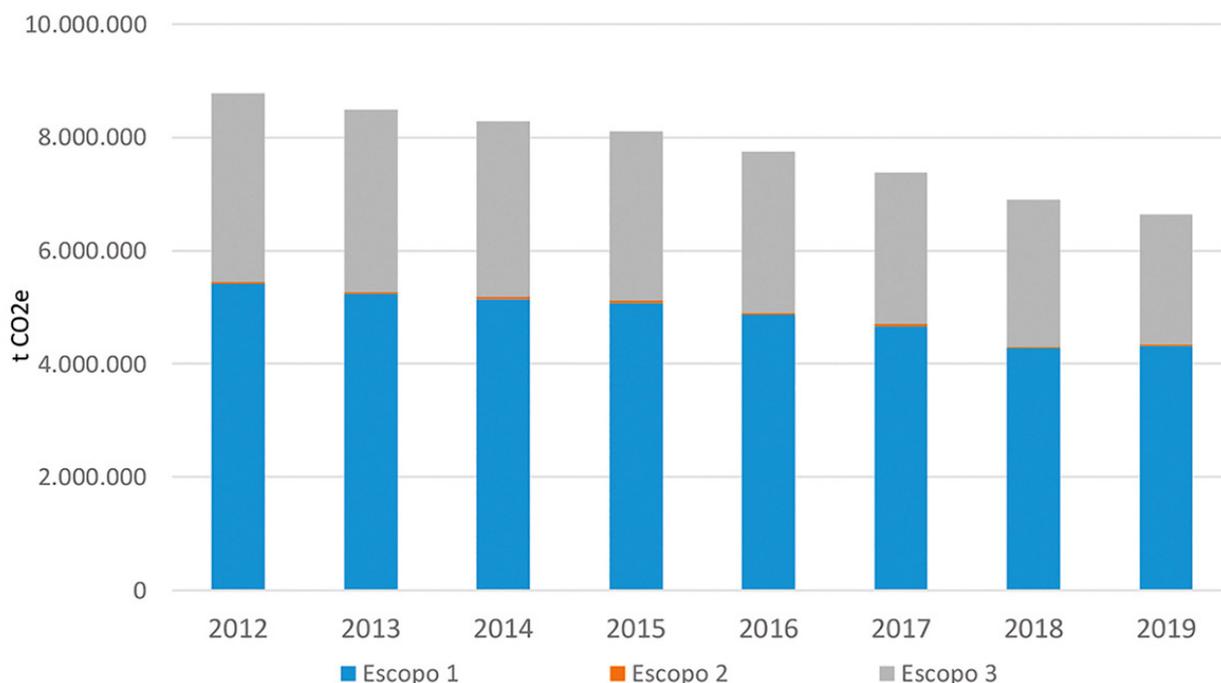


Fonte: elaboração própria.

As emissões relativas ao transporte rodoviário foram estimadas através de dados da venda de combustíveis por distribuidoras e postos localizados dentro dos limites municipais, e foram reportadas no escopo 1. Já o consumo de energia elétrica do SIN pelo setor de transportes se concentra no transporte ferroviário, como metrô, e VLT, e tem suas emissões reportadas no escopo 2. Neste modal, as emissões reportadas no escopo 1 referem-se ao consumo de combustíveis em trens de carga e também foram calculadas a partir de dados de venda dos mesmos. As emissões de escopo 3 cobrem as emissões de perdas na transmissão e distribuição da eletricidade consumida.

O transporte aquaviário inclui navios, balsas e outros barcos. O setor de aviação inclui emissões de helicópteros, aviões e outras aeronaves que abastecem na cidade. Considerando a disponibilidade de dados para cálculo e alocação destas fontes, as emissões de transporte aquaviário em âmbito nacional foram reportadas em escopo 1, enquanto as resultantes de viagens internacionais, no escopo 3. No subsetor aéreo todas as emissões foram reportadas no escopo 3, para melhor adequar a estrutura do inventário ao desenho de cenários de emissões e metas de mitigação da cidade.

Figura 11. Emissões de Transportes (t CO₂e), por escopo e ano – 2012 a 2019.



Fonte: elaboração própria.

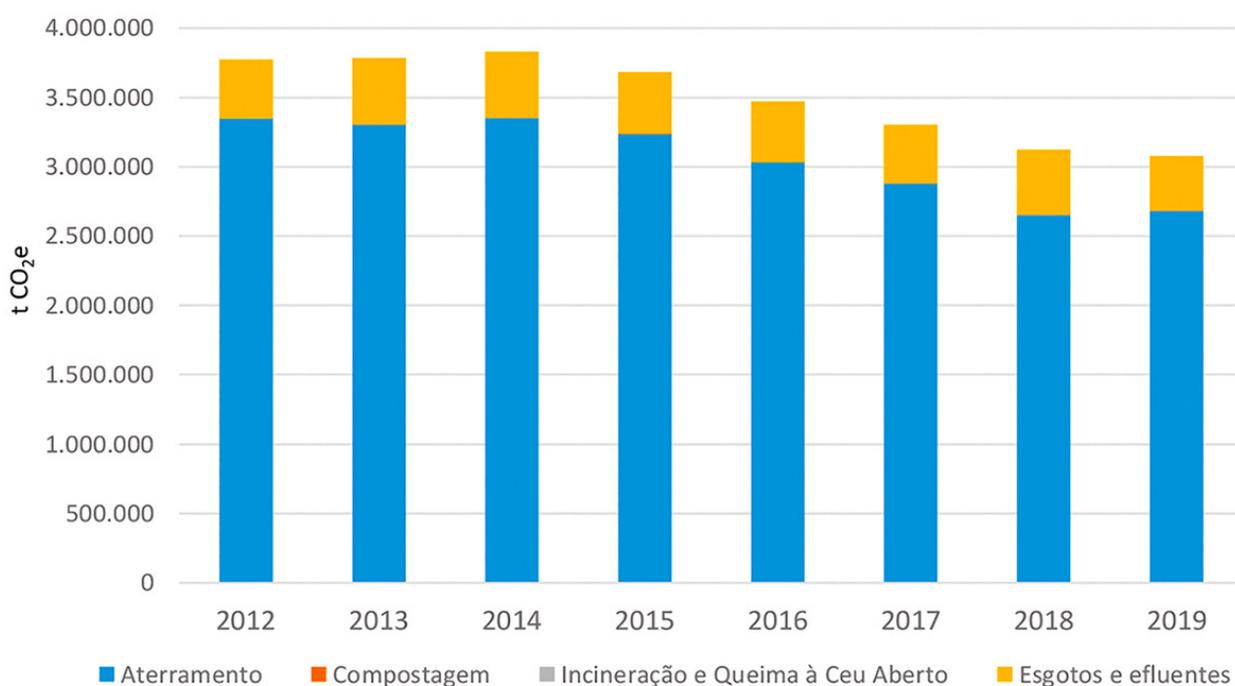
5.4 Resultados do Setor de Resíduos

Compreende as emissões provenientes de tratamento e/ou disposição de resíduos sólidos e efluentes. As emissões de GEE geradas pelos resíduos sólidos dependem do tratamento ao qual são submetidos. Basicamente, podem ser dispostos em aterros, incinerados, queimados a céu aberto, reciclados ou compostados.

A disposição em aterro é a principal destinação para os resíduos sólidos gerados na Cidade e também a principal fonte emissora do setor. Ainda assim, as emissões do aterramento estiveram em queda nos últimos anos. Um fator que contribuiu para isso foi a substituição do Aterro de Gramacho pelo Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) de Seropédica como principal destino dos resíduos da cidade. Embora ambos contem com sistemas de captura e aproveitamento de biogás, o CTR de Seropédica já foi planejado com esse sistema e, portanto, tem uma capacidade de captura mais eficiente que o de Gramacho.

As emissões originárias dos efluentes também dependem do tratamento ou disposição a que são submetidos. Parte do esgoto coletado na Cidade passa por tratamento biológico nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) das concessionárias CEDAE e Zona Oeste Mais. Parte é tratada *in situ* por condomínios, grandes comércios e indústrias em pequenas estações, geralmente de tratamento anaeróbico. Parte é lançado ao mar através dos emissários de Ipanema e da Barra da Tijuca, precedido de tratamento preliminar e primário, respectivamente. Existe ainda lançamento em corpos d'água e uso de fossas.

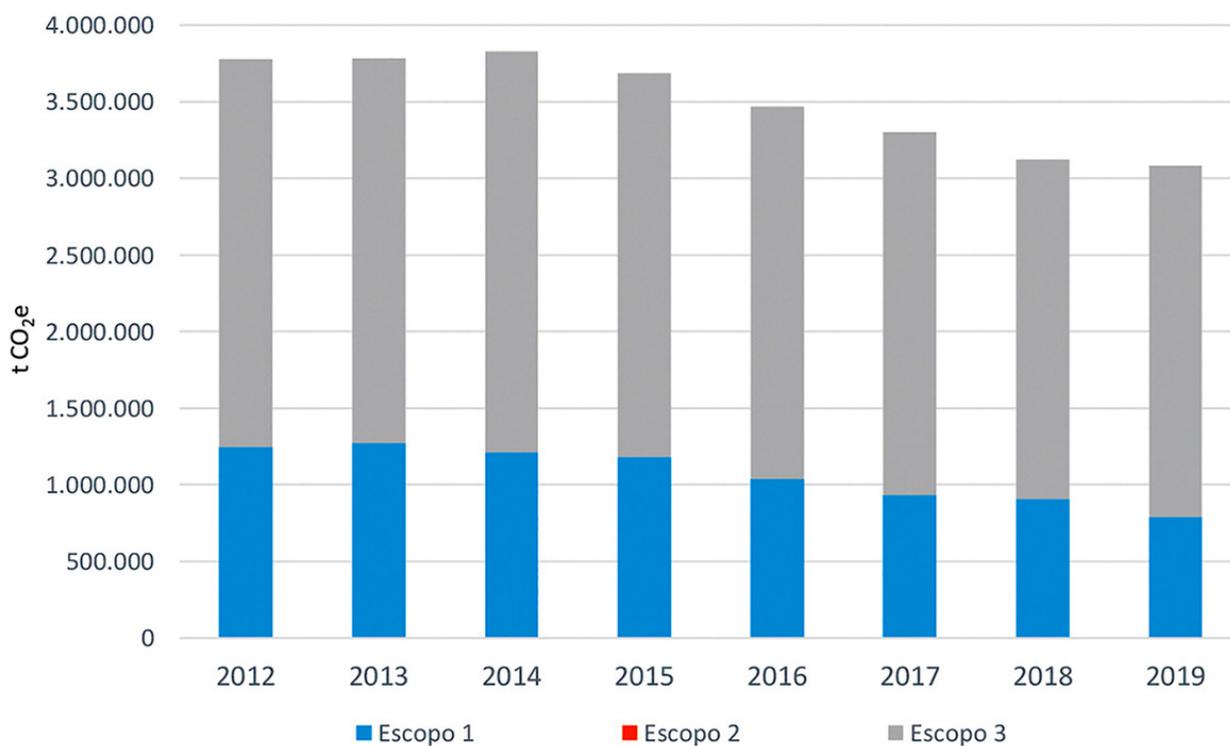
Figura 12. Emissões do setor de resíduos (t CO₂e), por subsetor e ano - 2012 a 2019.



Fonte: elaboração própria.

Para os locais de disposição ou tratamento de resíduos sólidos localizados fora da cidade as emissões são reportadas como escopo 3, já que são geradas fora dos limites do Município, porém são de responsabilidade da Cidade. As demais fontes são reportadas em escopo 1.

Figura 13. Emissões do setor de resíduos (t CO₂e), por escopo e ano - 2012 a 2019.

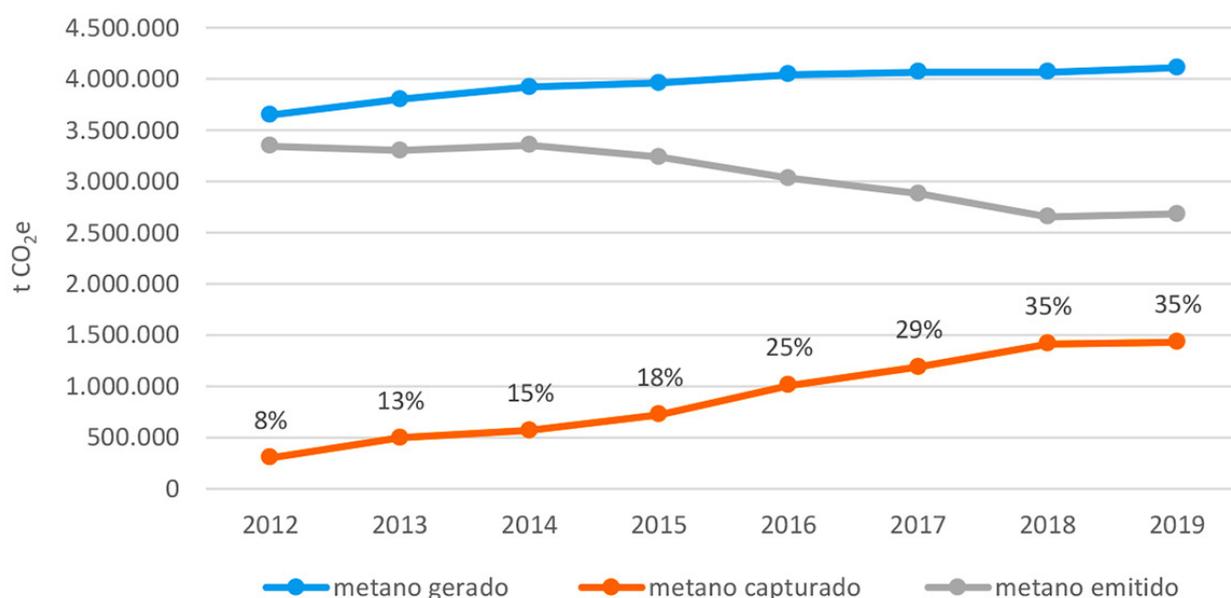


Fonte: elaboração própria.

A captura de biogás nos aterros é uma importante ação de mitigação adotada pela Cidade. Na Figura 14, é possível ver três trajetórias: 1. a quantidade estimada de metano gerado; 2. a quantidade estimada de metano emitido e; 3. a quantidade de metano capturado. Ao visualizar as trajetórias, é possível notar que a captura de biogás nos aterros leva a uma redução geral das emissões de GEE na atividade de aterramento de resíduos sólidos.

O biogás capturado pode ser apenas queimado em *flare*, transformando o metano em outros gases de menor potencial de aquecimento global, ou pode ser tratado e aproveitado como insumo energético. No aterro de Gramacho, o biogás capturado vinha sendo aproveitado por uma refinaria localizada fora da cidade. No CTR Seropédica, o biogás era queimado, e a partir de 2019 passou a ser utilizado em substituição ao gás natural por uma indústria localizada dentro da cidade. Neste caso, a captura de biogás exerce dupla função de mitigação ao evitar emissões de metano no aterro e ao evitar consumo de gás natural na indústria.

Figura 14. Comparação entre as emissões (t CO₂e) de metano geradas, capturadas e emitidas a partir do aterramento de resíduos sólidos originários da cidade do Rio de Janeiro. Os percentuais de emissões capturadas são relativos ao total de emissões geradas.



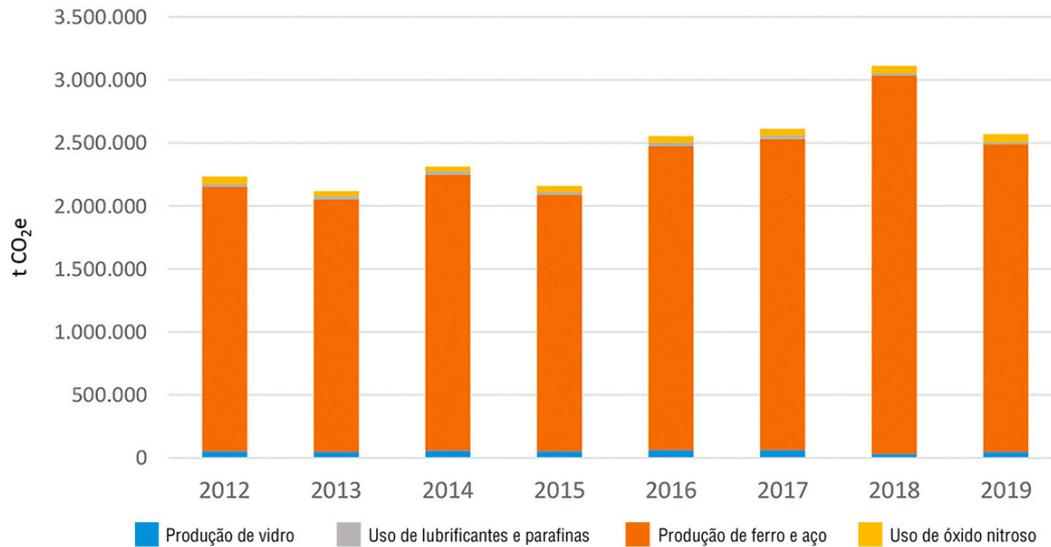
Fonte: elaboração própria.

5.5 Resultados do Setor de IPPU

Em Processos Industriais e Uso de Produtos (IPPU) são contabilizadas as emissões geradas durante processos industriais, tais como uso de combustíveis fósseis como matéria prima na fabricação de produtos, assim como outros processos na produção de amônia, cimento, vidro etc. Quanto ao uso de produtos, considera-se basicamente as emissões do uso de lubrificantes, graxas e parafinas e uso do gás óxido nitroso (N₂O) na indústria e hospitais.

É importante esclarecer que as emissões da indústria ocorrem tanto no consumo e geração de energia, calor e trabalho, quanto nos processos produtivos em si, porém as emissões relativas ao consumo e geração de energia, calor ou trabalho são computadas no setor Energia Estacionária. Portanto, embora a cidade tenha uma atividade industrial relevante, são poucas as unidades com emissões de GEE originárias dos seus processos industriais específicos, sendo estas basicamente as siderúrgicas e de produção de vidro.

Figura 15. Emissões do setor de IPPU (t CO₂e), por subsetor e ano - 2012 a 2019.



Fonte: elaboração própria.

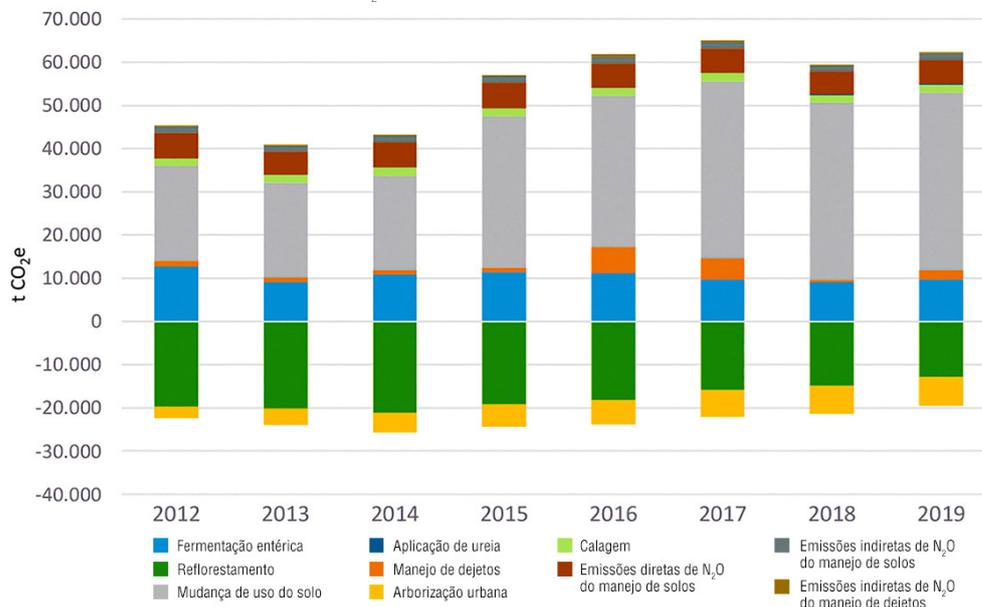
Os processos siderúrgicos, de produção de ferro e aço, são muito emissores de GEE e, portanto, esta atividade possui grande destaque em relação às outras atividades emissoras do setor. Todas as emissões deste setor são reportadas no escopo 1.

5.6 Resultados do Setor de AFOLU

Em Agropecuária, Florestas e Uso do Solo (AFOLU) são contabilizadas as emissões ocorridas por mudanças no uso do solo, incluindo a perda e ganho cobertura vegetal, através de desmatamento ou reflorestamento e regeneração natural. Atividades emissoras ligadas a agricultura e pecuária são também consideradas. Todas as emissões deste setor são reportadas no escopo 1.

Nesta categoria aparecem subsectores com remoção de CO₂ (valores negativos na Figura 16), que correspondem ao plantio de árvores, seja no reflorestamento ou na arborização urbana. Essas ações compensaram as emissões da mudança do uso do solo nos anos de 2012, 2013 e 2014.

Figura 16. Emissões do setor de AFOLU (t CO₂e), por subsetor e ano - 2012 a 2019.

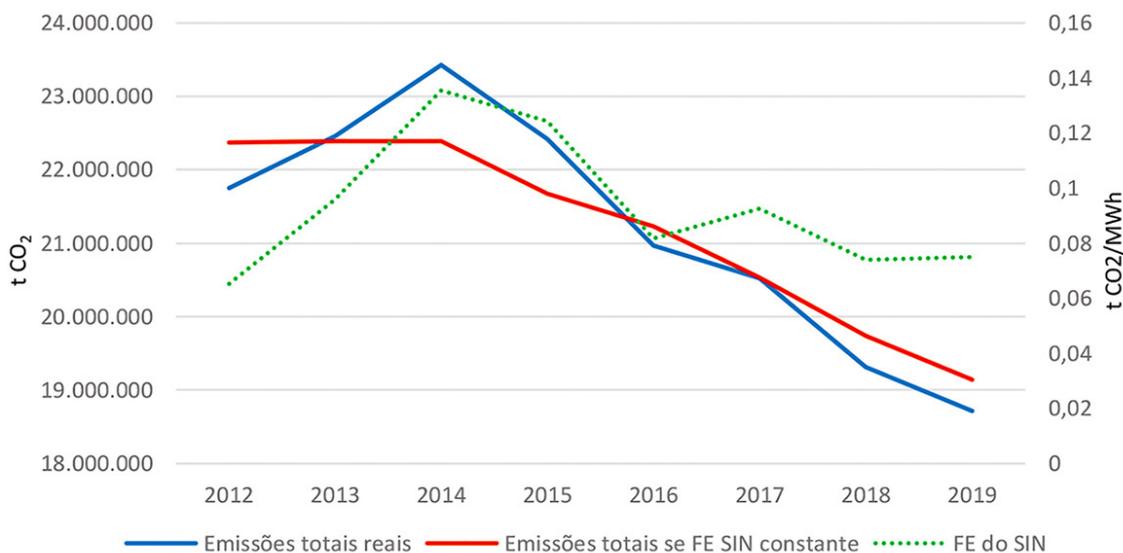


Fonte: elaboração própria.

6. Análise com fator de emissão da eletricidade constante

Para garantir a consistência ao longo da série histórica, é boa prática que se use nos cálculos o mesmo método, os mesmos fatores de conversão, de emissão, e uma série de dados consistente ao longo de todos os anos. No entanto, ao contrário dos outros fatores usados, o FE da eletricidade proveniente do SIN é um fator variável, pois reflete as mudanças na composição da matriz elétrica do sistema em um determinado período. Em um ano que foi necessário maior uso de usinas termelétricas, o FE do SIN foi maior; nos anos em que foi necessário menos acionamento destas usinas, ele foi menor.

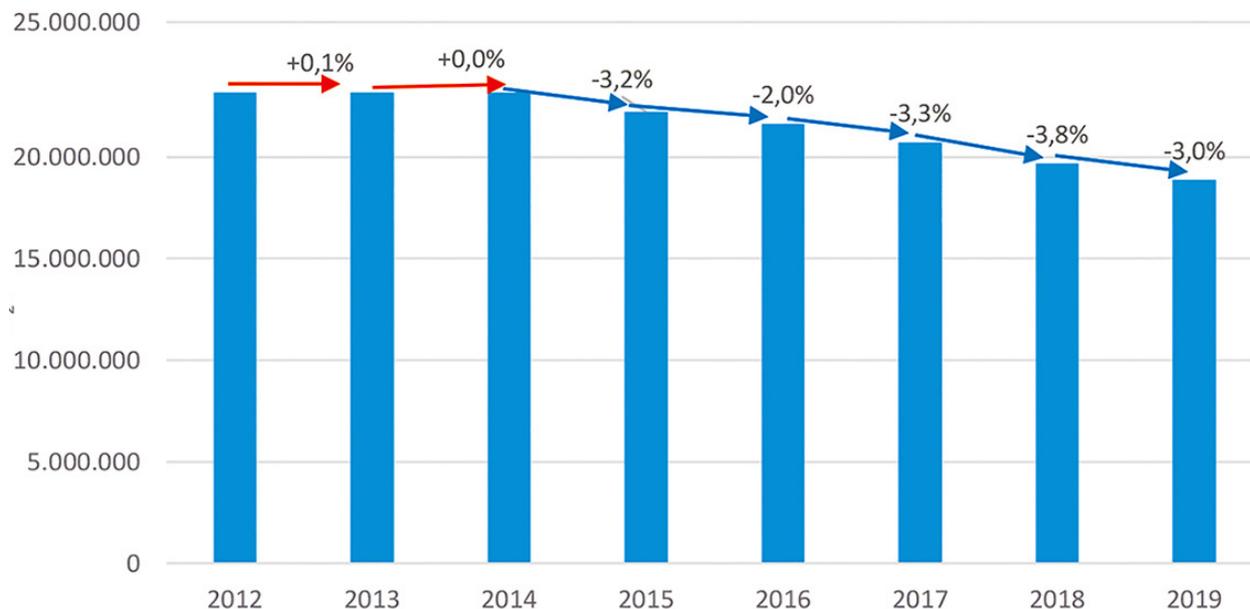
Figura 17. Análise do comportamento das emissões de GEE (t CO_{2,e}) da Cidade do Rio de Janeiro em função do valor do Fator de Emissão da eletricidade.



Fonte: elaboração própria.

Portanto, ao longo da série histórica de inventários, os valores do fator anual adotado variaram, o que pode enviesar a análise sobre o comportamento das emissões. As emissões foram, então, recalculadas usando como FE do SIN um valor único para todos os anos - uma média aritmética simples entre os valores do período. Desta forma, elimina-se esta variável cuja influência é significativa, conforme mostra a Figura 17.

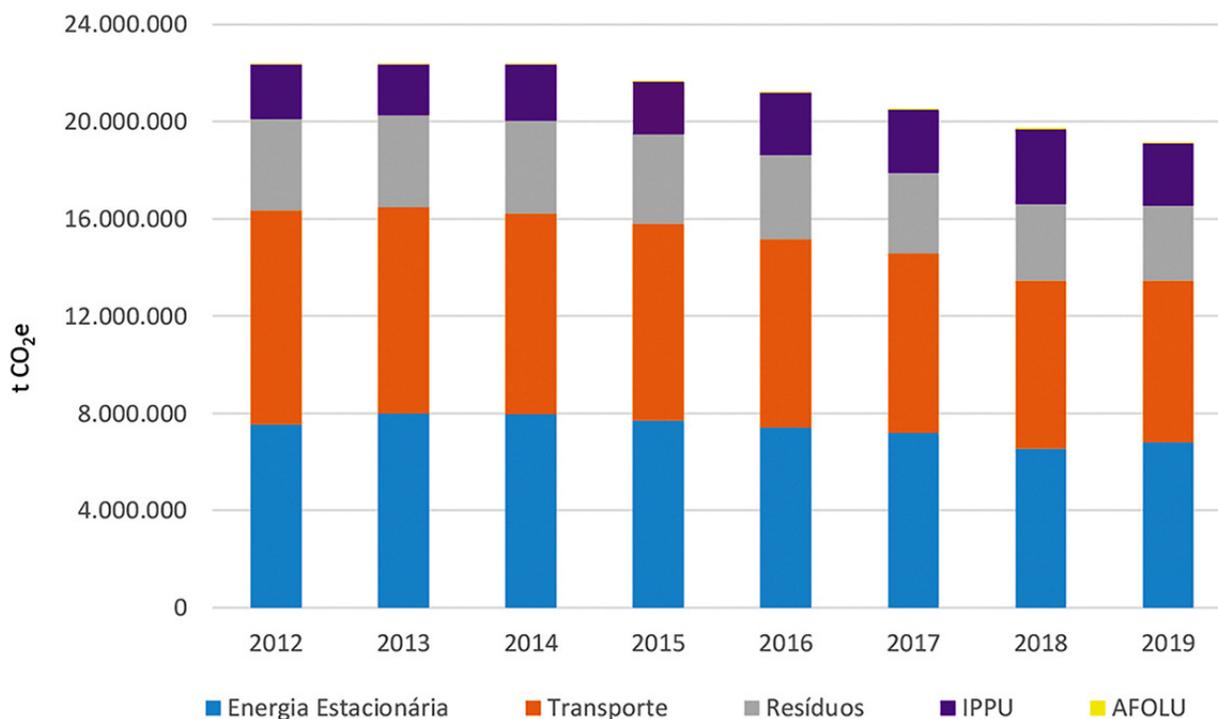
Figura 18. Simulação da evolução das emissões de Gases de Efeito Estufa (t CO_{2,e}) da Cidade do Rio de Janeiro se FE da eletricidade fosse constante ao longo dos anos - 2012 a 2019



Fonte: elaboração própria.

Sem essa variável, percebe-se com mais clareza que as emissões seriam praticamente constantes entre 2012 e 2014, e o pico de emissões em 2014 não existiria (Figura 18). O comportamento das emissões dos setores de energia estacionária e transporte também mostraria variações menos acentuadas (Figura 19).

Figura 19. Simulação das emissões de Gases de Efeito Estufa (t CO₂e) da Cidade do Rio de Janeiro por setor se FE da eletricidade fosse constante ao longo dos anos - 2012 a 2019



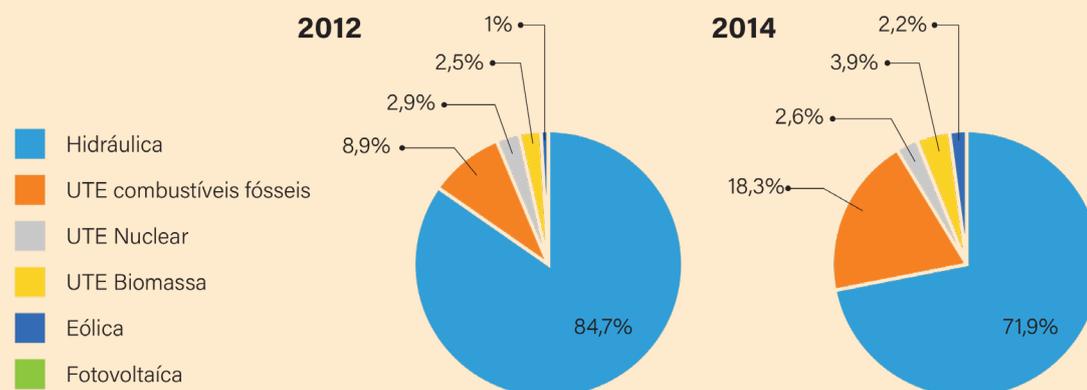
Fonte: elaboração própria.

A composição da matriz elétrica e as emissões de GEE

A cidade do Rio de Janeiro, assim como a maioria dos municípios brasileiros, é abastecida a partir de uma enorme rede nacional de energia elétrica, o Sistema Interligado Nacional (SIN). Para garantir a quantidade de eletricidade suficiente para suprir a demanda, várias fontes diferentes geram energia elétrica para abastecer essa rede: algumas consideradas como não emissoras ou de baixa emissão de GEE na etapa de geração, como as usinas hidrelétricas, fotovoltaicas e eólicas, e outras mais emissoras durante o processo de geração, como as usinas termelétricas que usam combustíveis fósseis.

O Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) divulga fatores de emissão (FE) mensais e anuais para aplicação em inventários, que são calculados considerando as estimativas de emissões de GEE das fontes geradoras da eletricidade acionadas no período analisado. Portanto os fatores variam mês a mês, ano a ano. Eles podem ser acessados a partir do site do ministério: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>.

Como a maior parte da matriz elétrica é de fontes de baixa ou nula emissão de GEE, a eletricidade do SIN é considerada uma eletricidade limpa quando comparada com redes de outras regiões e países pelo mundo. No entanto, a grande participação de usinas hidrelétricas deixa o sistema muito dependente de fatores climáticos. Em anos de pouca chuva nas regiões dos reservatórios, mais usinas térmicas à combustíveis fósseis precisam ser acionadas para compor a matriz elétrica e portanto mais altos são os fatores de emissão do SIN nestes anos. Como exemplo, na figura abaixo é possível comparar a matriz do SIN em 2012, quando o FE foi igual 0,0653 t CO₂/MWh, com a matriz em 2014, quando houve uma grande seca em parte do país e o FE foi mais do que o dobro de 2012: 0,1355 t CO₂/MWh.



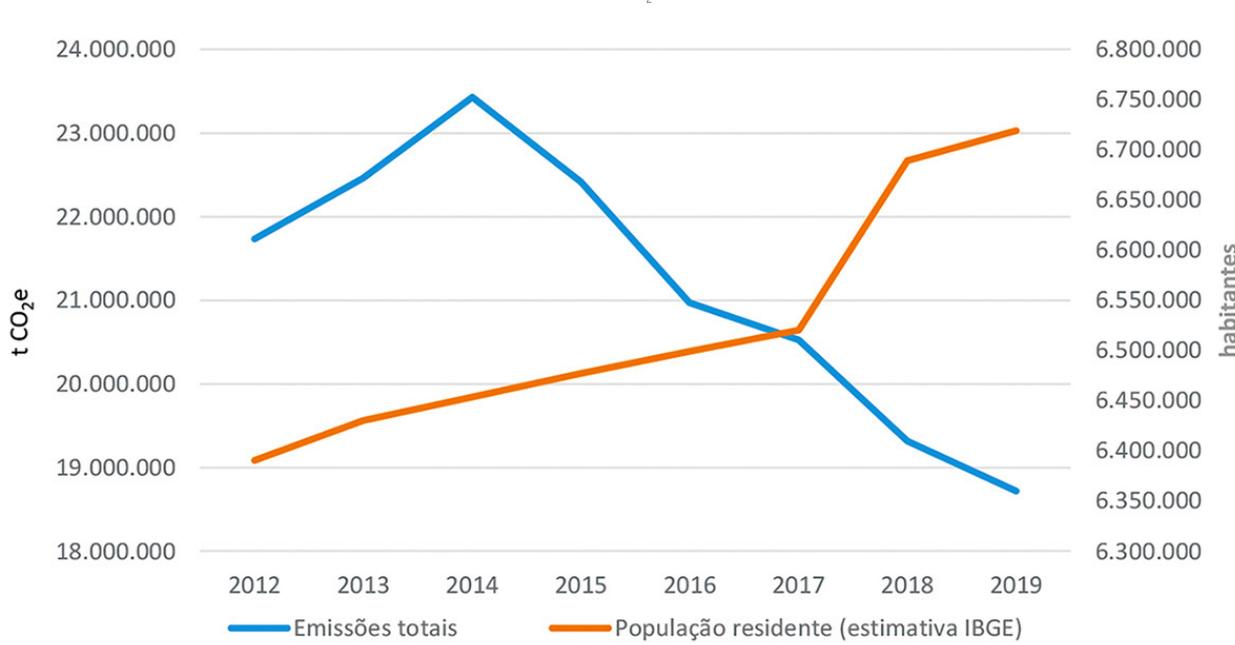
Fonte: Elaboração própria a partir de dados dos boletins mensais de monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro de janeiro de 2013 e janeiro de 2015 (MME, 2013 e 2015).

O impacto do clima na geração da eletricidade vem sendo um grande fator de preocupação, além de mostrar uma dependência das cidades brasileiras a um elemento que está além do controle delas e reforçar a importância de ações voltadas à geração distribuída de energia limpa e eficiência energética.

7. Considerações Finais

As emissões da Cidade apresentam uma trajetória de queda a partir de 2015, tanto de acordo com os resultados reais como com os simulados com um fator de emissão constante para a eletricidade. Essa trajetória não acompanha a evolução da população residente estimada da cidade (Figura 20).

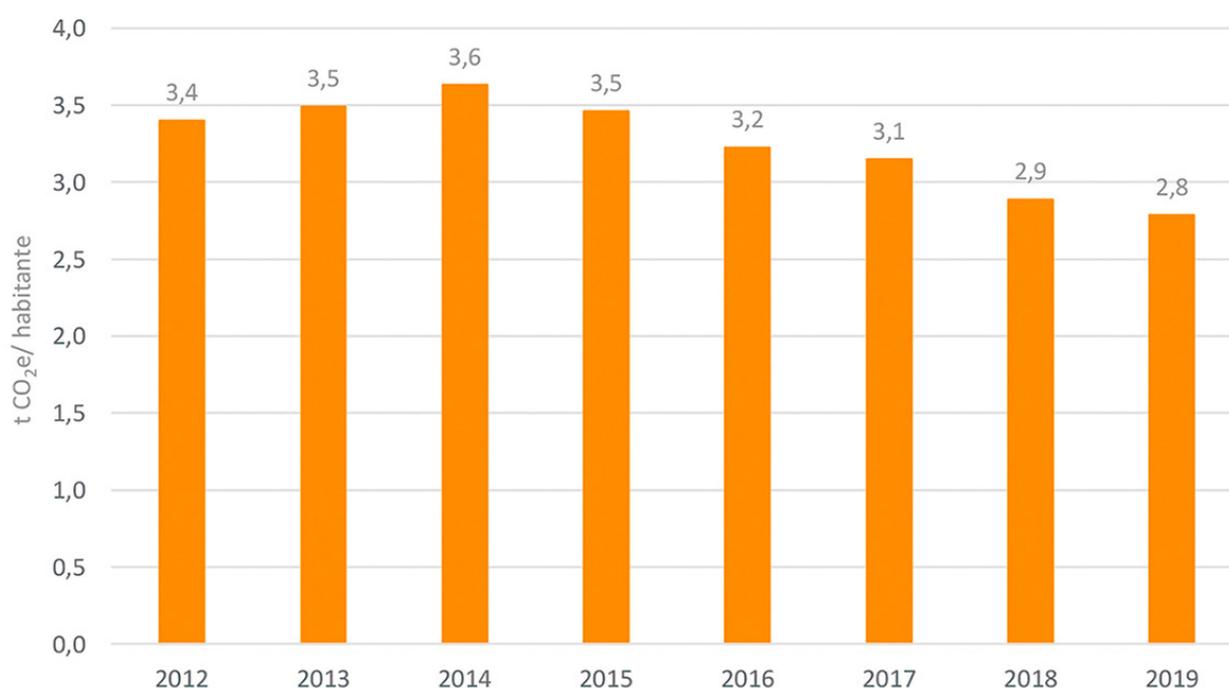
Figura 20. Comparação da evolução das emissões totais da cidade (t CO₂e) x evolução da população residente (habitantes) - 2012 a 2019



Fonte: elaboração própria

Com as emissões totais menores nos últimos anos e a população maior, as emissões *per capita* vêm reduzindo significativamente (Figura 21).

Figura 21. Emissões per capita (t CO₂e/ano) por ano



Fonte: elaboração própria

A **Tabela 6** compara as emissões *per capita* da cidade do Rio de Janeiro com as de outras cidades pelo mundo.

Tabela 6. Emissões de GEE per capita (t CO₂e/hab) do Rio de Janeiro e outras cidades

CIDADE	EMISSIONES PER CAPITA (t CO ₂ e/hab)	ANO REFERÊNCIA
Rio de Janeiro (Basic+)	2,8	2019
São Paulo (Basic)	1,3	2017
Salvador (Basic+)	1,1	2018
Amã (Basic+)	3,3	2018
Auckland (Basic+)	6,3	2018
Bogotá (Basic)	1,6	2017
Buenos Aires (Basic+)	4,0	2018
Cidade do México (Basic+)	5,2	2018
Estocolmo (Basic+)	2,1	2018
Lisboa (Basic+)	4,8	2018
Londres (Basic+)	4,2	2018
Paris (Basic+)	5,5	2018
São Francisco (Basic+)	5,8	2018
Tel-aviv (Basic+)	12,9	2019
Tóquio (Basic+)	5,5	2017
Veneza (Basic+)	11,6	2018
Vancouver (Basic)	4,0	2019

Fonte: Elaboração própria com informações do C40 Knowledge Hub.

O monitoramento das emissões é fundamental para o cumprimento das metas de redução de emissões de GEE estabelecidas no Plano de Desenvolvimento Sustentável e Ação Climática e no Plano Estratégico 2021-2024, permitindo à cidade identificar as principais fontes, maximizar os esforços de mitigação e subsidiar a atualização de cenários de emissões.

7. Referências

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. Relatórios de Referência. Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, 2020. Disponíveis em <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>.

C40 Cities. *City Inventory Reporting and Information System (CIRIS)* – version 2.4. Disponível em <https://resourcecentre.c40.org/resources/reporting-ghg-emissions-inventories>.

IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. Disponível em <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.

IPCC 2019, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland. Disponível em <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>.

Ministério de Minas e Energia (MME). Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro – Janeiro/2013, 2013. Disponível em <http://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico>, acesso em setembro de 2021.

Ministério de Minas e Energia (MME). Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro – Janeiro/2015, 2015. Disponível em <http://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico>, acesso em setembro de 2021.

WRI, C40 and ICLEI, 2014. *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories: An Accounting and Reporting Standard for Cities*. Disponível em <https://ghgprotocol.org/greenhouse-gas-protocol-accounting-reporting-standard-cities>.



PLANEJAMENTO
URBANO

INSTITUTO
PEREIRA
PASSOS