

INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS POR FONTES FIXAS INDUSTRIAIS

SUMÁRIO EXECUTIVO





REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente

Luiz Inácio Lula da Silva

Vice-Presidente

Geraldo Alckmin

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

Ministro

João Paulo Ribeiro Capobianco

Secretaria-Executiva

Anna Flávia de Senna Franco

**Secretaria Nacional de Meio Ambiente Urbano, Recursos Hídricos e
Qualidade Ambiental**

Secretário

Adalberto Felício Maluf Filho

Departamento de Qualidade Ambiental

Diretora

Thaianne Resende Henriques Fábio

Coordenação-Geral de Qualidade Ambiental

Coordenadora-Geral

Cayssa Peres Marcondes de Araújo

INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSIONES ATMOSFÉRICAS POR FONTES FIXAS INDUSTRIAIS

Brasília, DF

MMA

2026

Coordenação

Leonardo Hoinaski (UFSC)

Equipe Técnica

Alice Battisti dos Santos (UFSC)
Bruno Joukoski Jalowski (UFSC)
Bruno Piletti (UFSC)
Camilo Bastos Ribeiro (UFSC)
Clarissa Dias Santana (UFSC)
Fábio Castagna da Silva (UFSC)
Gabriel Limas Coimbra (UFSC)
Gabriela Kauany Martins (UFSC)
Igor Vinicius Reynaldo Tibúrcio (UFSC)
Jean Eduardo da Silveira Schneider (UFSC)
José Henrique Hess (UFSC)
Júlia Bachinski (UFSC)
Marcos Henrique Perrude (UFSC)
Mariana de Souza Becker (UFSC)
Mariana Tiemy Yonezawa (UFSC)
Rafaela Chiminelli Borth (UFSC)
Reinaldo Elias Webber (UFSC)
Robson Will (UFSC)
Rubia Truppel dos Santos (UFSC)
Luiz Gustavo Haisi Mandalho (MMA)
Thiago de Oliveira Valente (MMA)

Equipe Consultiva

Leila Droprinchinski Martins (UTF/PR)
Maria de Fátima Andrade (USP)
Neyval Costa Reis (UFES)
Rizzieri Pedruzzi (UERJ)
Taciana Toledo de Almeida Albuquerque (UFMG)
Diogo Lopes (UAveiro/Portugal)

Diagramação

Júlio César Américo Leitão

Essa publicação foi produzida por meio do TED N° 001987/0002/2024 SQA, Projeto Instrumentos para a Gestão da Qualidade do Ar no Brasil.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP

B823i Brasil. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.
Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Fontes Fixas Industriais
[recurso eletrônico]. – Brasília, DF: MMA, 2026.
117 p. : il. color.

Modo de acesso: Wold Wide Web

ISBN: 978-85-7738-621-5 (online)

1. Poluição atmosférica. 3. Qualidade do ar. 4. Legislação ambiental
I. Título.

CDU 502..175: 351.777

IBAMA

Biblioteca Nacional do Meio Ambiente
Tahís da Silva Rodrigues – CRB1/3688

Lista de figuras

Figura 1	Diagrama esquemático de bancos de dados de produção e fontes energéticas nacionais.....	19
Figura 2	Diagrama esquemático do procedimento para as estimativas de emissões atmosféricas baseadas em processos.....	20
Figura 3	Procedimento de verificação de consistência de dados por NFR - Produção.....	21
Figura 4	Diagrama esquemático do procedimento para as estimativas de emissões atmosféricas baseadas em consumo de energia.	22
Figura 5	Procedimento de verificação de consistência de dados por NFR – Energia.....	23
Figura 6	Agregação de emissões por setor e Tier.	25
Figura 7	Distribuição espacial dos empreendimentos inventariados.....	31
Figura 8	Número de fontes inventariadas no período de 2017 a 2023.	31
Figura 9	Número de fontes inventariadas por UF no período de 2017 a 2023.....	32
Figura 10	Número de fontes inventariadas por setor no período de 2017 a 2023.	32
Figura 11	Distribuição espacial das taxas de emissões de $MP_{2,5}$ no Brasil em 2023.	33
Figura 12	Quantificação das taxas de emissões de $MP_{2,5}$, MP_{10} , PTS, CN, CO, SO_x , NO_x e COVNM no Brasil.....	34
Figura 13	Quantificação das taxas de emissões de PTS no Brasil.....	35
Figura 14	Quantificação das taxas de emissões de $MP_{2,5}$ no Brasil.	35
Figura 15	Quantificação das taxas de emissões de MP_{10} no Brasil.....	35
Figura 16	Quantificação das taxas de emissões de NO_x no Brasil.....	36
Figura 17	Quantificação das taxas de emissões de SO_x no Brasil.....	36
Figura 18	Quantificação das taxas de emissões de CO no Brasil.....	37
Figura 19	Quantificação das taxas de emissões de COVNM no Brasil.....	37
Figura 20	Distribuição espacial das taxas de emissões de $MP_{2,5}$ por UF no Brasil.....	38
Figura 21	Quantificação das taxas de emissões de $MP_{2,5}$ por UF no Brasil.....	39
Figura 22	Distribuição espacial dos empreendimentos emissores de $MP_{2,5}$ classificados como majoritários, intermediários e minoritários no Brasil.....	42
Figura 23	Quantificação de empreendimentos emissores de $MP_{2,5}$ classificados como majoritários, intermediários e minoritários por ano e região no Brasil.....	43
Figura 24	Distribuição espacial das tendências interanuais de $MP_{2,5}$ no Brasil.....	44
Figura V1	Percentual de valores extremos por poluente.....	117

Lista de tabelas

Tabela 1.	Setores considerados nas estimativas de emissões de fontes fixas.	15
Tabela 2.	Características dos diferentes níveis metodológicos (Tiers)	17
Tabela 3.	Origem dos dados para banco estruturado inicial.....	19
Tabela 4.	Associações e empresas convidadas para participação no estudo.	24
Tabela A1.	Apêndice A - Lista de correspondência de atividades do CTF/APP e a respectiva codificação NFR.....	54
Tabela B1	Apêndice B - Fatores de emissão utilizados para Produção Pública de Eletricidade e Calor.....	58
Tabela C1	Apêndice C - Fatores de emissão utilizados para Refino de Petróleo (NFR 1.A.1.b).	63
Tabela C2	Apêndice C - Fatores de emissão utilizados para Emissões Fugitivas no Refino de Petróleo (NFR 1.B.2.a.iv).....	64
Tabela D1	Apêndice D - Fatores de emissão utilizados para Fabricação de Combustíveis Sólidos.....	66
Tabela E1.	Apêndice E - Fatores de emissão utilizados na combustão de biomassa na indústria.....	68
Tabela E2	Apêndice E - Fatores de emissão utilizados na combustão de combustíveis gasosos na indústria.	69
Tabela E3	Apêndice E - Fatores de emissão utilizados na combustão de combustíveis líquidos na indústria.	70
Tabela E4	Apêndice E - Fatores de emissão utilizados na combustão de combustíveis sólidos na indústria.....	71
Tabela E5	Apêndice E - Fatores de emissão utilizados na combustão na Fabricação de ferro e aço (NFR 2.C.1).....	72
Tabela E6	Apêndice E - Fatores de emissão utilizados na combustão na Fabricação de metais não-ferrosos.	72
Tabela E7	Apêndice E - Fatores de emissão utilizados na combustão na Indústria de minerais não-metálicos.	73
Tabela F1	Apêndice F - Fatores de emissão utilizados para Combustão na Indústria Sucroalcooleira.	76
Tabela G1	Apêndice G - Fatores de emissão utilizados para Fabricação de Cimento.	78
Tabela G2	Apêndice G - Composição média de clínquer por tipo de cimento.....	78
Tabela H1	Apêndice H - Fatores de emissão utilizados para Fabricação de Cal.....	80
Tabela H2	Apêndice H - Composição média de cal por tipo de produto.....	80
Tabela I1	Apêndice I - Fatores de emissão utilizados para Fabricação de Vidro.....	82
Tabela J1	Apêndice J - Fatores de emissão utilizados para Indústria Química.....	84
Tabela K1	Apêndice K - Fatores de emissão utilizados para a Fabricação de Ferro e Aço.	87

Tabela L1	Apêndice L - Fatores de emissão utilizados para a Fabricação de Ferroligas e Silício Metálico.....	91
Tabela M1	Apêndice M - Fatores de emissão utilizados para a Fabricação de Alumínio.....	93
Tabela N1	Apêndice N - Fatores de emissão utilizados para a Fabricação de Chumbo.....	95
Tabela O1	Apêndice O - Fatores de emissão utilizados para a Fabricação de Zinco.....	96
Tabela P1	Apêndice P - Fatores de emissão utilizados para a Produção de Cobre.....	97
Tabela Q1	Apêndice Q - Fatores de emissão utilizados para a Indústria de Fundição.....	100
Tabela S1	Apêndice S - Fatores de emissão utilizados para a Fabricação de Celulose e Papel.....	103
Tabela S2	Apêndice S – Composição de celulose.....	104
Tabela T1	Apêndice T - Fatores de emissão utilizados para a Fabricação de alimentos, bebidas e tabaco.....	106
Tabela U1	Apêndice U - Códigos de identificação do SPECIATE para MP2,5 e Compostos Orgânicos Voláteis utilizados na especificação química das emissões.....	107
Tabela V1	Apêndice V - Dez maiores distâncias entre coordenada informada e centroide municipal declarado.....	114
Tabela V2	Apêndice V - N° e percentual de valores extremos por poluente (Z-score modificado sobre log10).....	116

Lista de siglas

ABAL: Associação Brasileira do Alumínio
ABCobre: Associação Brasileira do Cobre
ABIFA: Associação Brasileira de Fundição
ABIQUM: Associação Brasileira da Indústria Química
ABIVIDRO: Associação Brasileira das Indústrias de Vidro
ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAFE: Associação Brasileira dos Produtores de Ferroligas e de Silício Metálico
ABRAGET: Associação Brasileira de Geradoras Termelétricas
ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica
ANFAVEA: Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANP: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
APDC: Associação dos Produtores de Derivados do Calcário
As: Arsênio
BOF/LD: Conversor a Oxigênio (*Basic Oxygen Furnace/Linz-Donawitz*)
Cd: Cádmio
CETESB: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CH₄: Metano
CN: Carbono Negro
CO: Monóxido de Carbono
Conama: Conselho Nacional do Meio Ambiente
COVNM: Compostos Orgânicos Voláteis Não Metânicos
Cr: Cromo
CLRTAP: Convenção sobre a Poluição Atmosférica Transfronteiriça a Longa Distância (*Convention on Long-range Transboundary Air Pollution*)
CP: Cimento *Portland*
csv: Valores Separados por Vírgula (*Comma-Separated Values*)
CSN: Companhia Siderúrgica Nacional
CTF/APP: Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais
Cu: Cobre
EAF: Forno Elétrico a Arco (*Electric Arc Furnace*)
EDA: Estudos de Dispersão Atmosférica
EDC: Dicloreto de Etileno
EPE: Empresa de Pesquisa Energética
EPS: Poliestireno Expandido

HCB: Hexaclorobenzeno

Hg: Mercúrio

IBÁ: Indústria Brasileira de Árvores

Ibama: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCC: Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change*)

I-TEQ: Equivalente Tóxico Internacional

HIPS: Poliestireno de Alto Impacto

MMA: Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima

MP: Material Particulado

MP_{2,5}: Material Particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 2,5 µm

MP₁₀: Material Particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 10 µm

NBR: Norma Brasileira Regulamentadora

NFR: Nomenclatura para Relatórios de Emissões (*Nomenclature for Reporting*)

NH₃: Amônia

Ni: Níquel

NO_x: Óxidos de Nitrogênio

Pb: Chumbo

PCB: Bifenilas Policloradas

PCDD/F: Dibenzo-p-dioxinas e Dibenzofuranos Policlorados

PEAD: Polietileno de Alta Densidade

PEBD: Polietileno de Baixa Densidade

PELBD: Polietileno Linear de Baixa Densidade

Pronar: Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar

PTS: Partículas Totais em Suspensão

PVC: Policloreto de Vinila

RAPP: Relatório Anual de Atividades Potencialmente Poluidoras

Se: Selênio

SIGA: Sistema de Informações de Geração da ANEEL

SO_x: Óxidos de Enxofre

SNIC: Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

UF: Unidade da Federação

UNICA: União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia

US EPA: Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*United States Environmental Protection Agency*)

VCM: Monômero de Cloreto de Vinila

Zn: Zinco

Apresentação

A qualidade do ar está diretamente relacionada à saúde da população, à qualidade ambiental e ao desenvolvimento sustentável. Para enfrentar os desafios associados à poluição atmosférica, é fundamental ampliar o conhecimento sobre suas fontes e fortalecer a capacidade do país de planejar e avaliar ações de prevenção e controle.

Este **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Fontes Fixas Industriais** representa um importante avanço nesse sentido, ao reunir, de forma sistematizada, informações sobre as emissões associadas às atividades industriais no Brasil. A iniciativa contribui para ampliar o conhecimento sobre a distribuição das emissões no território nacional e oferece uma base de informações para apoiar diferentes instrumentos e estratégias de gestão da qualidade do ar.

A publicação também integra o esforço de fortalecimento da governança nacional da qualidade do ar, ao disponibilizar informações de forma transparente e acessível. Os resultados poderão ser consultados em plataforma digital interativa, ampliando as possibilidades de análise e utilização dos dados por órgãos públicos, instituições de pesquisa, setor produtivo e sociedade.

Mais do que apresentar um retrato das emissões industriais, este trabalho busca disseminar a metodologia para elaboração de inventários de fontes industriais e expandir o conhecimento sobre as fontes de poluição atmosférica no país, contribuindo para o planejamento e execução de ações para melhoria da qualidade do ar baseadas em evidências.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Propósito	13
1.2. Escopo	14
2. METODOLOGIA	16
2.1 Fatores de emissão	18
2.2 Estrutura da base de dados	19
2.2.1 Estimativas baseadas em processos de produção	20
2.2.2 Estimativas baseadas em consumo energético	22
2.2.3 Emissões declaradas por empreendedores	24
2.3 Agregação de dados de diferentes níveis metodológicos	25
2.4 Limitações	26
3. RESULTADOS	29
3.1 Quantificação de empreendimentos e fontes inventariadas	29
3.2 Quantificação das taxas de emissões	33
3.2.1 Emissões por UF no Brasil	38
3.2.2 Enquadramento dos empreendimentos de acordo com o potencial de emissão de poluentes atmosféricos	39
3.2.3 Análise de tendências nas emissões industriais	43
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
Como citar	48
Referências bibliográficas	48
APÊNDICE A - Lista de correspondência de atividades - CTF/APP e NFR	54
APÊNDICE B - Parâmetros de estimativa de emissões - Produção pública de eletricidade e calor (NFR 1.A.1.a)	57
APÊNDICE C - Parâmetros de estimativa de emissões - Refino de petróleo (NFR 1.A.1.b) e suas emissões fugitivas (NFR 1.B.2.a.iv)	62

APÊNDICE D - Parâmetros de estimativa de emissões - Fabricação de combustíveis sólidos (NFR 1.A.1.c)	65
APÊNDICE E - Parâmetros de estimativa de emissões - Combustão na indústria (NFR 1.A.2.a, 1.A.2.b, 1.A.2.c, 1.A.2.d, 1.A.2.e, 1.A.2.f, 1.A.2.g)	67
APÊNDICE F - Parâmetros de estimativa de emissões - Combustão na indústria sucroalcooleira (NFR 1.A.2.e.i)	74
APÊNDICE G - Parâmetros de estimativa de emissões - Fabricação de cimento (NFR 2.A.1)	77
APÊNDICE H - Parâmetros de estimativa de emissões - Fabricação de cal (NFR 2.A.2)	79
APÊNDICE I - Parâmetros de estimativa de emissões - Fabricação de vidro (NFR 2.A.3)	81
APÊNDICE J - Parâmetros de estimativa de emissões - Fabricação de produtos químicos (NFR 2.B)	83
APÊNDICE K - Parâmetros de estimativa de emissões - Fabricação de ferro e aço (NFR 2.C.1)	86
APÊNDICE L - Parâmetros de estimativa de emissões - Fabricação de ferroligas e silício metálico (NFR 2.C.2)	90
APÊNDICE M - Parâmetros de estimativa de emissões - Fabricação de alumínio (NFR 2.C.3)	92
APÊNDICE N - Parâmetros de estimativa de emissões - Fabricação de chumbo (NFR 2.C.5)	94
APÊNDICE O - Parâmetros de estimativa de emissões - Fabricação de zinco (NFR 2.C.6)	96
APÊNDICE P - Parâmetros de estimativa de emissões - Fabricação de cobre (NFR 2.C.7.a)	97
APÊNDICE Q - Parâmetros de estimativa de emissões - Indústria da fundição (NFR 2.C.7.c)	99
APÊNDICE R - Parâmetros de estimativa de emissões - Aplicações em superfície: montagem de veículos (NFR 2.D.3.d)	101
APÊNDICE S - Parâmetros de estimativa de emissões - Fabricação de celulose e papel (NFR 2.H.1)	102
APÊNDICE T - Parâmetros de estimativa de emissões - Fabricação de alimentos, bebidas e tabaco (NFR 2.H.2)	105
APÊNDICE U - Códigos de identificação do SPECIATE utilizados na especificação química das emissões	107
APÊNDICE V - Controle de Qualidade do Inventário de Emissões Atmosféricas de Fontes Fixas Industriais	113

1 Introdução

As fontes fixas industriais estão entre os principais contribuintes para a emissão de poluentes atmosféricos em áreas urbanas e regiões industrializadas. A caracterização dessas emissões em termos de tipo de poluente, sua magnitude, distribuição espacial e composição setorial subsidia ações de monitoramento e controle, licenciamento ambiental e modelagem da qualidade do ar, além de apoiar a formulação, a implementação e a avaliação de políticas públicas. Nesse contexto, os inventários de emissões atmosféricas desempenham papel estratégico ao reunir, organizar e consolidar informações sobre as fontes emissoras, fornecendo uma base técnica consistente para o planejamento e a gestão da qualidade do ar.

Segundo a Política Nacional de Qualidade do Ar (Lei nº 14.850/2024), os inventários de emissões desempenham papel estruturante na gestão da qualidade do ar, representando um instrumento obrigatório para a caracterização das fontes e quantificação das emissões. A Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) - Conama nº 5/1989 (BRASIL, 1989), que instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (Pronar), estabeleceu a elaboração do inventário nacional de fontes e emissões atmosféricas no Brasil. Recentemente, a Resolução Conama nº 513/2026 (BRASIL, 2026) atualizou o Pronar e estabeleceu diretrizes específicas para inventários nacionais de emissões de fontes fixas. Nesse caso, o inventário de emissões torna-se um instrumento legal estruturante e sua elaboração regular pela União e pelos Estados é exigida por lei para subsidiar políticas públicas de controle da poluição atmosférica.

Este Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas de Fontes Fixas Industriais consolida uma metodologia nacional para estimativa das emissões atmosféricas industriais, a partir da integração e harmonização de bases de dados públicas, em especial o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais (CTF/APP) (BRASIL, [s. d.]a) e o Relatório Anual de Atividades Potencialmente Poluidoras (RAPP) (BRASIL, [s. d.]b), complementados por outras fontes de informação. O inventário apresenta estimativas de emissões em escala nacional, incluindo sua distribuição espacial e composição setorial, com

o objetivo de subsidiar ações de planejamento, monitoramento e gestão da qualidade do ar no Brasil.

1.1. Propósito

Diante da necessidade de consolidação de um inventário de emissões de fontes fixas padronizado, comparável e representativo em escala nacional, o presente inventário foi desenvolvido com base em boas práticas internacionais, com destaque para as diretrizes metodológicas adotadas pela União Europeia, adaptadas ao contexto brasileiro.

A construção do inventário considerou a utilização de bases de dados nacionais, em especial o Cadastro Técnico Federal e o Relatório Anual de Atividades Potencialmente Poluidoras (CTF/APP e RAPP) (BRASIL, [s.d.], [s.d.]), com avaliação da consistência, representatividade e aderência dos dados às metodologias de estimativa de emissões. Adicionalmente, foi adotada uma abordagem estruturada para o rastreamento e a espacialização das fontes, de modo a garantir a adequada representação geográfica das emissões.

A metodologia aplicada foi definida de forma padronizada para todo o território nacional, assegurando a consistência entre setores, fontes e poluentes inventariados. Nesse contexto, o inventário foi desenvolvido com base nos princípios de transparência, rastreabilidade e consistência, de modo a permitir a reproduzibilidade das estimativas e a comparabilidade entre diferentes regiões e períodos. Todos os detalhes metodológicos adotados estão descritos na **Seção 2** do presente documento.

Cabe destacar que este inventário representa o primeiro passo para a consolidação de um sistema nacional de inventários de emissões atmosféricas por fontes fixas. Sua estrutura metodológica padronizada estabelece uma base comum para o desenvolvimen-



NOTA

Este relatório será disponibilizado na forma de plataforma digital interativa, na qual os usuários poderão consultar, visualizar, extrair e analisar os dados de forma customizada, permitindo a aplicação de filtros por setor, atividade econômica, poluente, unidade federativa, município e período de referência, além da geração de tabelas, gráficos e mapas para apoiar análises técnicas e a tomada de decisão.



NOTA

A presente iniciativa tem caráter estruturante, servindo como ponto de partida para estimular e orientar a elaboração de inventários mais robustos pelos estados, promovendo o aprimoramento contínuo da qualidade das estimativas. Considerando as dimensões continentais do Brasil e a necessidade de uniformidade metodológica em âmbito nacional, o inventário apresentado atende às demandas da gestão da qualidade do ar na esfera federal, ao mesmo tempo em que cria as bases técnicas e institucionais para a evolução e o refinamento dos inventários em escala estadual e regional.

to futuro de inventários estaduais, que poderão incorporar informações locais mais detalhadas, fatores de emissão específicos, dados de atividade mais refinados e maior nível de desagregação espacial e setorial.

Este inventário constitui um instrumento de suporte para a gestão da qualidade do ar no Brasil, contribuindo para o diagnóstico das emissões de fontes fixas em escala nacional e para o embasamento técnico dos Planos de Gestão da Qualidade do Ar, alinhados com a Política Nacional de Qualidade do Ar.

1.2. Escopo

As emissões de fontes fixas industriais foram inventariadas em escala nacional, abrangendo todas as Unidades da Federação (UF) do Brasil. O período de referência considerado compreende os anos de 2017 a 2023.

A definição dos setores contemplados neste inventário resultou de análise exploratória prévia da disponibilidade de dados, associada à avaliação da aderência técnica entre os fatores de emissão e as taxas de atividade reportadas no Relatório Anual de Atividades Potencialmente Poluidoras (RAPP) do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) (BRASIL, [s.d]b). A **Tabela 1** apresenta a síntese dos setores incluídos, organizados conforme a categorização NFR (*Nomenclature for Reporting*), adotada no *EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook* (EEA, 2023), enquanto a tabela presente no **Apêndice A** apresenta a correspondência entre esta codificação e as atividades do Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais (CTF/APP) (BRASIL, [s. d.]a).

1. Introdução

As estimativas de emissões foram realizadas para os poluentes Partículas Totais em Suspensão (PTS), Material Particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 10 μm (MP_{10}), Material Particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 2,5 μm ($\text{MP}_{2,5}$), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Óxidos de Enxofre (SO_x) e Compostos Orgânicos Voláteis Não Metânicos (COVNM). Também foram estimadas as emissões de Carbono Negro (CN), devido à sua relevância como componente do material particulado fino, aos seus impactos sobre a saúde humana e ao seu papel como poluente climático de vida curta, contribuindo para o aquecimento atmosférico. Outros poluentes também foram estimados, de acordo com a disponibilidade de fatores de emissão e conformidade metodológica adotada para a elaboração do inventário de cada setor (lista de apêndices na **Tabela 1**).

Tabela 1. Setores considerados nas estimativas de emissões de fontes fixas.

Setor	NFR	Atividade	Especificações
1A - Combustão	1.A.1.a	Produção pública de eletricidade e calor	Apêndice B
	1.A.1.b	Refino de petróleo	Apêndice C
	1.A.1.c	Fabricação de combustíveis sólidos	Apêndice D
	1.A.2.a	Combustão na indústria de metais ferrosos	Apêndice E
	1.A.2.b	Combustão na indústria de metais não-ferrosos	
	1.A.2.c	Combustão na indústria química	
	1.A.2.d	Combustão na indústria de celulose, papel e gráfica	
	1.A.2.e	Combustão na indústria de alimentos, bebidas e tabaco	Apêndice F
	1.A.2.e.i	Combustão na indústria sucroalcooleira	
	1.A.2.f	Combustão na indústria de minerais não-metálicos	
	1.A.2.g	Combustão na indústria - outras atividades	Apêndice E
1.B - Emissões fugitivas	1.B.2.a.iv	Refino de petróleo (fugitivas)	Apêndice C
2.A - Indústria de produtos minerais	2.A.1	Fabricação de cimento	Apêndice G
	2.A.2	Fabricação de cal	Apêndice H
	2.A.3	Fabricação de vidro	Apêndice I
2.B - Indústria Química	2.B.10.a	Fabricação de outros produtos químicos	Apêndice J
2.C - Indústria de produção de metais	2.C.1	Fabricação de ferro e aço	Apêndice K
	2.C.2	Fabricação de ferroligas e silício metálico	Apêndice L
	2.C.3	Produção de alumínio	Apêndice M
	2.C.5	Fabricação de chumbo	Apêndice N
	2.C.6	Fabricação de zinco	Apêndice O
	2.C.7.a	Fabricação de cobre	Apêndice P
	2.C.7.c	Indústria da fundição	Apêndice Q
2.D - Uso de produtos e solventes	2.D.3.d	Aplicações em superfície: montagem de veículos	Apêndice R
2.H - Outras indústrias	2.H.1	Fabricação de papel e celulose	Apêndice S
	2.H.2	Fabricação de alimentos, bebidas e tabaco	Apêndice T

Fonte: elaborado pelos autores.

2

Metodologia

O inventário nacional de emissões de fontes fixas foi desenvolvido a partir de uma abordagem *bottom-up*, adotando a metodologia recomendada pelo *EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2023* (EEA, 2023) e considerando os setores detalhados na **Seção 1.2**. A abordagem segue o conceito de *Tier* (nível), organizando os métodos segundo a disponibilidade de dados de taxas de atividade e tecnologia envolvida.

- *Tier 1* - é baseado em dados estatísticos agregados e fatores de emissão padrão, assumindo relação linear simples entre a taxa de atividade e a emissão de determinado poluente. Trata-se do método menos complexo e com o maior nível de incerteza.
- *Tier 2* - mantém a estrutura de produto entre a taxa de atividade e fator de emissão, porém utiliza fatores específicos ao país, ao combustível, ao controle ou à tecnologia empregada (ou a combinação de 2 ou mais fatores), reduzindo a incerteza associada às estimativas.
- *Tier 3* - compreende metodologias mais detalhadas que podem envolver maior desagregação da atividade, com o uso de dados por instalação, medições ou modelos que representem os processos emissores com elevado nível de especificidade (EEA, 2023).

A escolha do *Tier* está vinculada à análise de categorias relevantes, priorizando-se métodos mais detalhados para categorias com maior contribuição às emissões totais em nível nacional, à tendência temporal ou à incerteza agregada. A adoção de *Tiers* superiores implica na redução efetiva de erros nas estimativas (EEA, 2023). A **Tabela 2** sintetiza as principais características de cada nível metodológico.

2. Metodologia

Tabela 2. Características dos diferentes níveis metodológicos (Tiers).

Elemento	Tier 1	Tier 2	Tier 3
Estrutura do cálculo	Relação linear entre taxa de atividade e fator de emissão	Produto de taxa de atividade e fator de emissão desagregada por tecnologia, ou país, ou controle ou combustível	Modelagem por instalação, balanço de massa ou medições, contínuas ou não, realizadas em campo
Origem da taxa de atividade	Dados estatísticos agregados nacionais	Dados desagregados por setor, tecnologia ou processo	Dados específicos da instalação ou unidade produtiva
Fatores de emissão	Fatores padrão fornecidos pelo <i>Guidebook</i>	Fatores específicos ao país ou ajustados à tecnologia empregada	Fatores derivados de medições diretas ou obtidos por modelagem
Controle ou abatimento	Considerado de forma implícita nos fatores de emissão	Considerado de forma explícita quando definida a tecnologia de abatimento ou implícita quando definida a tecnologia de produção	Considerado conforme eficiência real do sistema
Exigência de dados	Baixa	Moderada	Elevada
Nível de incerteza	Elevado	Moderado	Baixo
Aplicação recomendada	Categorias não-chave ou em ausência de dados detalhados	Categorias relevantes com dados setoriais disponíveis	Categorias-chave ou setores com dados específicos robustos

Fonte: adaptado de EEA (2023).

As estimativas de emissões são baseadas na relação das taxas de atividade e fatores de emissão (EEA, 2023). A equação básica dessa relação é expressa como:

$$E_p = TA \times FE_p \quad (1)$$

onde E_p representa a emissão de determinado poluente atmosférico p , TA a Taxa de Atividade e FE_p o Fator de Emissão correspondente (EEA, 2023).

Essa abordagem simplificada é adequada quando uma categoria é tratada de maneira agregada. Contudo, quando há distinção tecnológica conhecida, seja de uso de combustíveis, definição regional ou no abatimento de emissões, o cálculo deve ser desagregado, incorporando somatórios sobre os diferentes estratos de atividade. Assim, a expressão geral assume a forma:

$$E_{i,p} = \sum_{i=1}^{\eta} (TA_i \times FE_{i,p}) \quad (2)$$

em que E_p é a emissão do poluente p , TA_i corresponde à taxa de atividade associada à tecnologia ou subcategoria i ; e $FE_{i,p}$ representa o respectivo fator de emissão específico do poluente p para a tecnologia ou subcategoria i .

Quando existem sistemas de controle ou tecnologias de abatimento conhecidos e implementados, o cálculo deve incorporar a eficiência de remoção associada a cada tecnologia, considerando o Fator de Emissão para emissões sem controle. Assim, o fator de emissão é expresso como:

2. Metodologia

$$FE_{i,p} = FE_{i,p,sem\ abatimento} X (1 - \eta_{i,p}) \quad (3)$$

Onde $\eta_{i,p}$ representa a eficiência de abatimento do poluente p na tecnologia ou subcategoria i , em valores percentuais.

2.1 Fatores de emissão

No que se refere aos fatores de emissão, o Guia do EMEP/EEA (EEA, 2023) contém capítulos setoriais, organizados segundo NFR (*Nomenclature for Reporting*). O documento menciona a possibilidade de utilização de outras bases consolidadas internacionais, como a AP-42 da *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) (USEPA, 1995), desde que sua aplicação seja justificada e compatível com as características do processo considerado, assegurando a rastreabilidade, a transparência e a comparabilidade das estimativas (EEA, 2023).

No presente inventário, foram empregados majoritariamente os fatores de emissão propostos nos capítulos setoriais do Guia do EMEP/EEA (EEA, 2023), com a adoção de fatores da AP-42 da EPA (USEPA, 1995) em atividades cujas tecnologias e controles foram considerados mais similares ao cenário brasileiro, com o devido registro nos **Apêndices B - T** deste trabalho.

Os fatores de emissão utilizados foram estruturados considerando a harmonização de unidades para kg de poluente por tonelada de produto ou kg de poluente por terajoule de energia, conforme o caso (processo/energia). Sempre que disponíveis, foram considerados fatores de emissão desagregados por tecnologia e tipo de processo. Os detalhes sobre os fatores de emissão adotados para cada poluente estão disponíveis nos **Apêndices B - T**. Nestes apêndices também são apresentadas as listas de poluentes estimados para cada um dos setores contemplados neste inventário. Na ausência de fatores de emissão para Carbono Negro (CN) no guia EMEP/EEA (EEA, 2023), foram utilizados os perfis de especiação química do SPECIATE (USEPA, [s. d.]) considerados mais representativos para as emissões de cada setor. O **Apêndice U** apresenta os códigos de identificação dos perfis de especiação química do SPECIATE empregados nos setores para os quais não havia fatores de emissão de CN disponíveis no guia EMEP/EEA (EEA, 2023).

2.2 Estrutura da base de dados

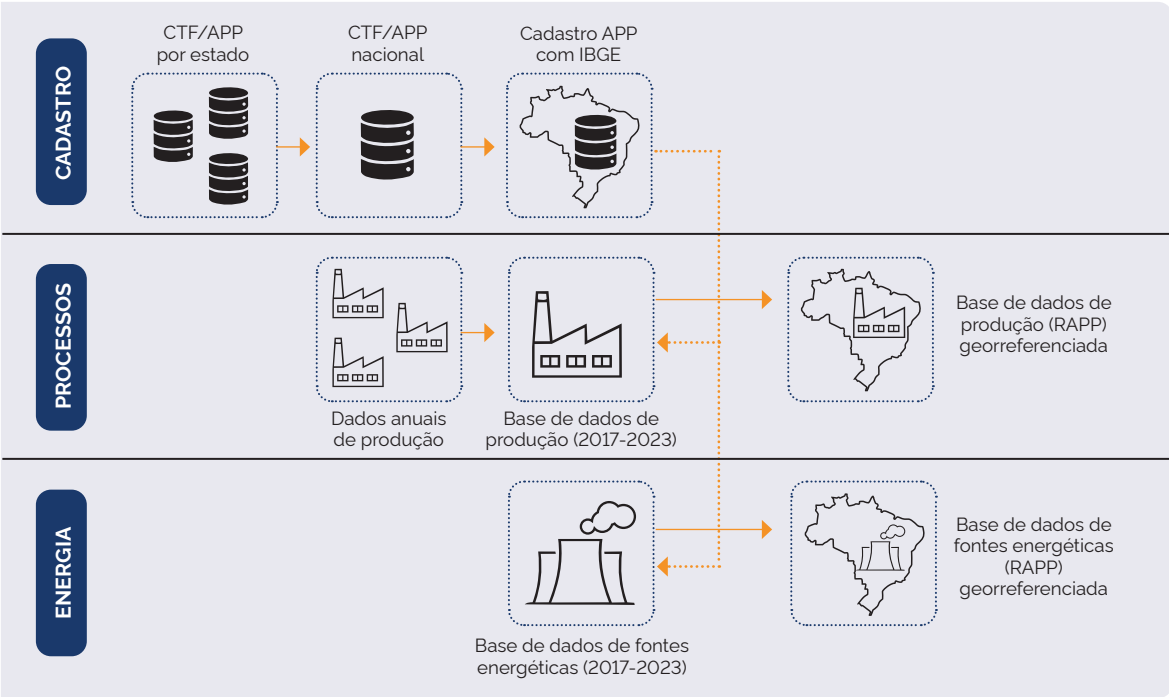
Um banco de dados foi construído a partir das informações cadastrais do CTF/APP e RAPP (BRASIL, [s. d.]a, [s. d.]b), integrando as atividades executadas e a respectiva localização geográfica das fontes emissoras. Os códigos e nomes de municípios associados às fontes emissoras também foram incorporados no banco de dados, com o objetivo de viabilizar análises espaciais. A **Tabela 3** apresenta a origem dos dados utilizados provenientes do Ibama e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (IBGE, 2025a). A **Figura 1** sintetiza o processo de elaboração e estruturação do banco de dados.

Tabela 3. Origem dos dados para banco estruturado inicial.

Dado	Fonte dos dados
Dados do CTF e localização	https://dadosabertos.ibama.gov.br/dataset/pessoas-juridicas-inscritis-no-ctf-app
Fontes energéticas	https://dadosabertos.ibama.gov.br/dataset/fontes-energeticas
Produtos e subprodutos industriais	Formulário recebido por correio eletrônico por meio de solicitação ao Ibama
Dados do IBGE	https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 1. Diagrama esquemático de bancos de dados de produção e fontes energéticas nacionais.



Fonte: elaborado pelo autor.



AVISO

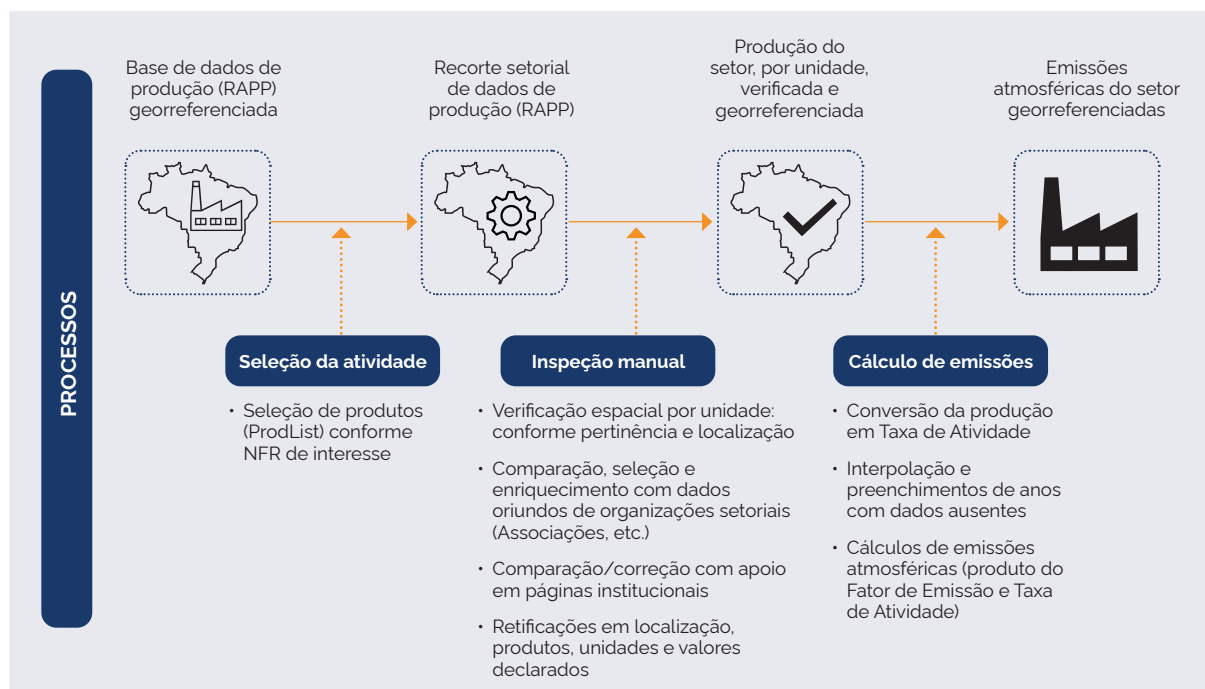
Devido ao caráter autodeclaratório do CTF/APP e RAPP (BRASIL, [s. d.]a, [s. d.] b), os dados estão sujeitos a imprecisões de declaração, como inserção indevida de produtos, erros de digitação, divergências de enquadramento e uso de unidades de medida inadequadas. Por este motivo, sempre que disponíveis, bases alternativas foram consultadas para sustentar a inclusão ou exclusão de determinado empreendimento na categoria em análise. O detalhamento sobre essas bases de dados auxiliares está nos Apêndices B-T.

A partir do banco de dados estruturado, o inventário foi elaborado adotando três frentes metodológicas distintas, cujos procedimentos específicos de cálculo e refinamento são detalhados nas subseções **2.2.1 a 2.2.3**.

2.2.1 Estimativas baseadas em processos de produção

O procedimento para obtenção das emissões baseadas em processos de produção está descrito na **Figura 2**. Para as categorias de *NFR* baseadas em processos industriais (EEA, 2023), as taxas de atividade foram obtidas a partir do formulário de produtos e subprodutos do RAPP (BRASIL, [s. d.]b). A seleção dos produtos compatíveis com cada *NFR* foi realizada a partir do cruzamento entre o produto declarado, a atividade econômica cadastrada e a classificação ProdList-Indústria do IBGE (IBGE, 2025b). Uma vez identificados os produtos compatíveis, foi realizado um recorte setorial do banco de dados com base nos produtos e conduzido um procedimento manual de verificação e validação.

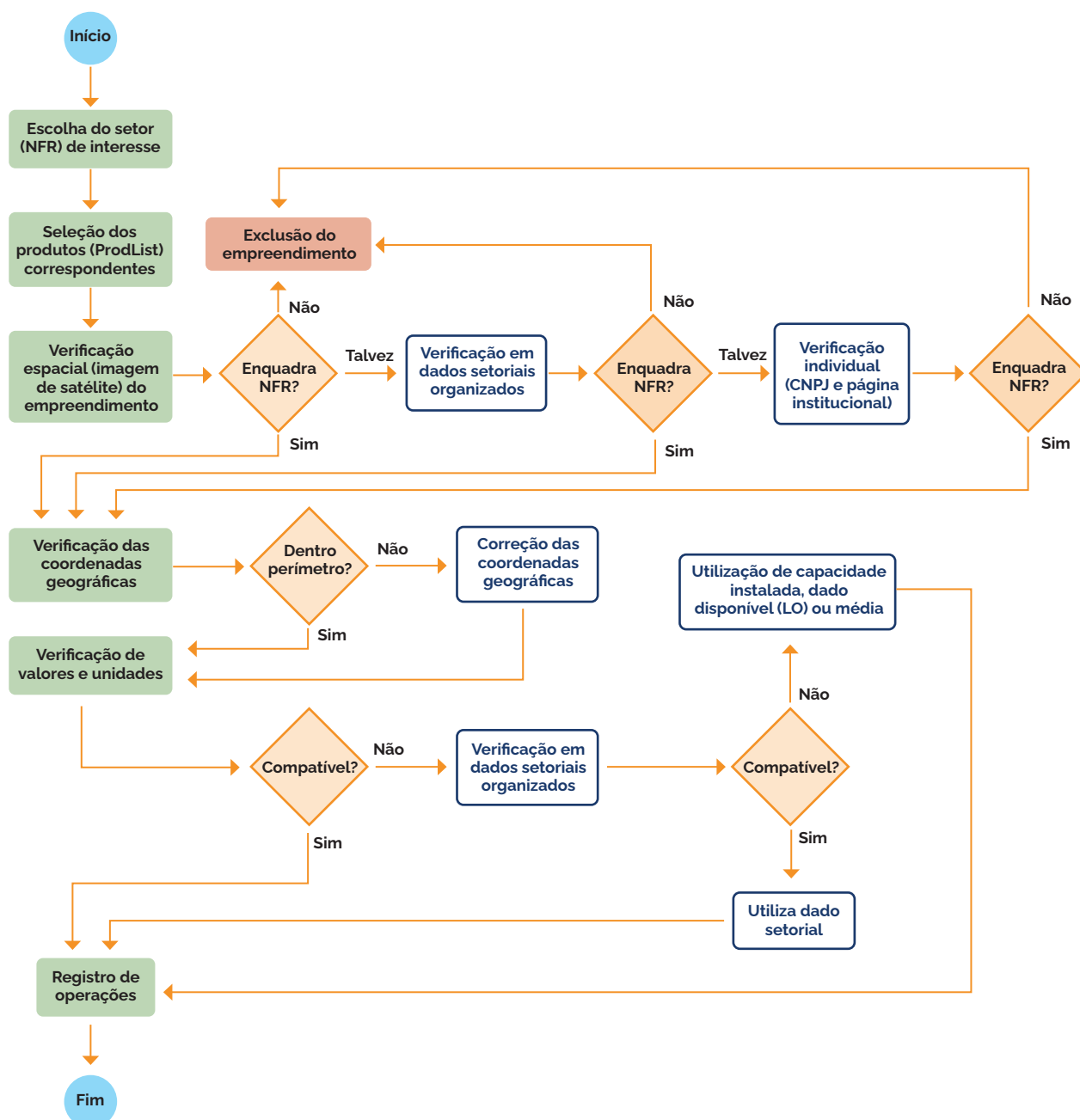
Figura 2. Diagrama esquemático do procedimento para as estimativas de emissões atmosféricas baseadas em processos.



Fonte: elaborado pelo autor.

A verificação envolveu a conferência da compatibilidade entre produto e atividade declarada, a verificação da vinculação do empreendimento com associações setoriais relevantes, bem como a análise da infraestrutura a partir de imagens de satélite e a consulta a informações técnicas disponibilizadas pelas próprias empresas. Além disso, foram buscadas fontes alternativas de dados, como relatórios setoriais, capacidade instalada informada no RAPP (BRASIL, [s. d.]b) ou diretamente em Licença de Operação. As coordenadas geográficas dos empreendimentos foram verificadas individualmente utilizando imagens de satélite do *Google Earth*, sendo aplicadas correções nos casos em que se observaram inconsistências, como deslocamentos do ponto geográfico para fora do perímetro industrial.

Figura 3. Procedimento de verificação de consistência de dados por NFR - Produção.



2. Metodologia

Nos casos em que existiam lacunas nas séries temporais de dados declarados e quando não havia indícios de alteração estrutural da atividade produtiva, a série temporal foi preenchida utilizando interpolação linear; nos demais casos, as lacunas foram mantidas.

Após a conferência dos dados de processos de produção, as taxas de emissões foram calculadas mediante o produto entre a taxa de atividade e o fator de emissão correspondente. Nos casos em que a taxa de atividade não era diretamente correspondente ao fator de emissão, foram aplicadas conversões baseadas em coeficientes de rendimento, relações estequiométricas ou informações setoriais disponíveis, como no caso de empreendimentos que declaram apenas o produto, mas cuja etapa intermediária constitui a base do fator de emissão. O diagrama esquemático de todos os procedimentos adotados está apresentado na **Figura 3**. Todas as considerações, hipóteses e fatores de emissão adotados por setor são apresentados nos **Apêndices B - T**.

2.2.2 Estimativas baseadas em consumo energético

Para as categorias de NFR baseadas em consumo energético, as taxas de atividade foram obtidas a partir do formulário de fontes energéticas do RAPP (BRASIL, [s. d.]), com padronização das unidades em terajoules. O procedimento geral é similar ao da seção anterior e é apresentado na **Figura 4**.

No caso específico de usinas termelétricas, foram realizadas verificações adicionais com dados públicos de associações setoriais e da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), de modo a caracterizar o tipo de geração e possibilitar a aplicação de fatores de emissão mais específicos, compatíveis com abordagens *Tier 2*. Para os demais casos, foi utilizada a base da ANEEL para verificação de consistência de dados (ANEEL, [s. d.]).

Figura 4. Diagrama esquemático do procedimento para as estimativas de emissões atmosféricas baseadas em consumo de energia.

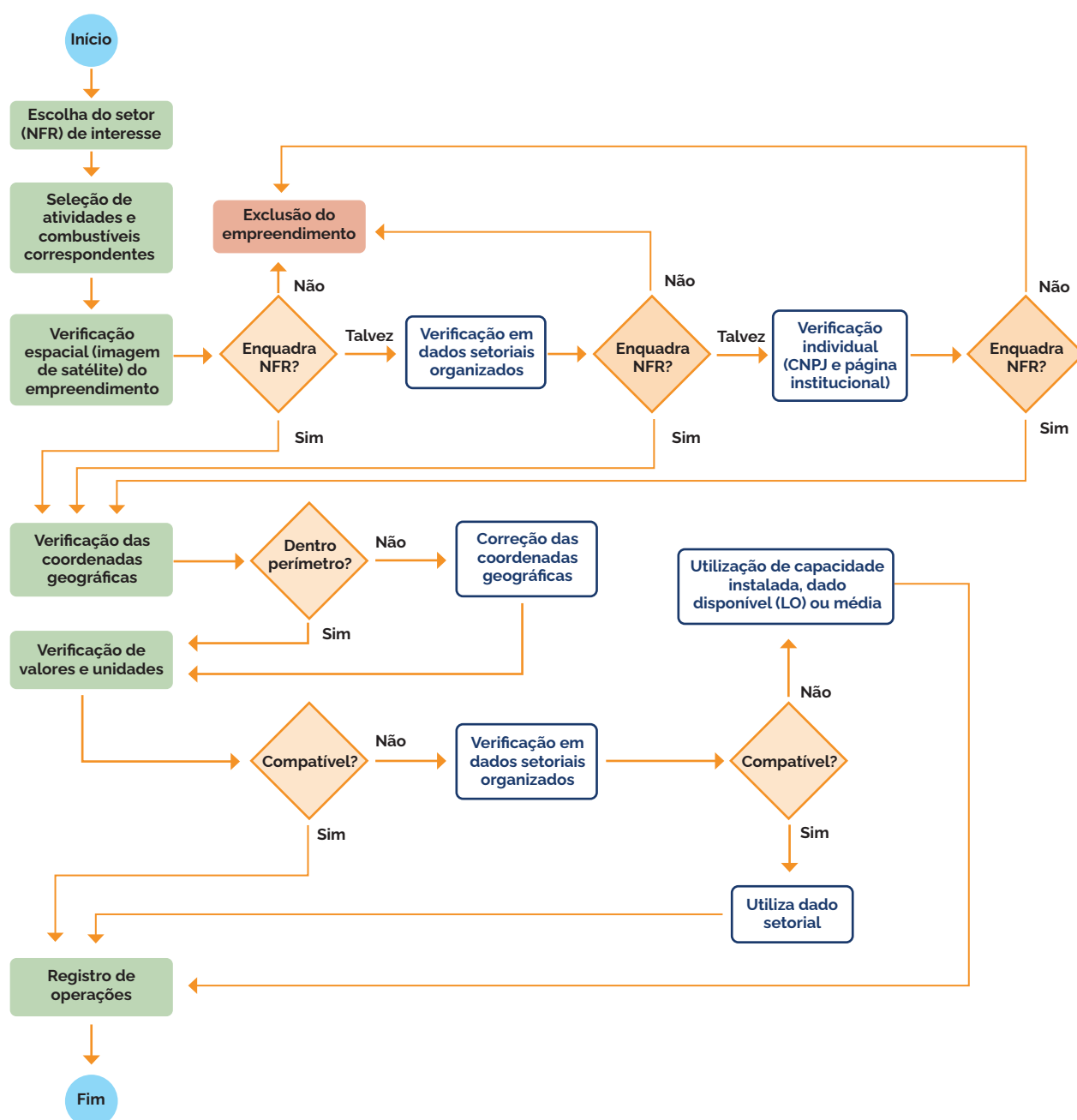


Fonte: elaborado pelo autor.

Em seguida, foi realizado o procedimento manual descrito na **Figura 5**. Nesse caso, foram retificados dados inconsistentes em que era dedutível o erro de preenchimento, bem como a localização geográfica do empreendimento declarada fora do perímetro industrial.

Uma vez concluída a análise manual dos dados de consumo de energia, as taxas de emissões atmosféricas foram calculadas mediante o produto entre a taxa de atividade e o fator de emissão correspondente.

Figura 5. Procedimento de verificação de consistência de dados por NFR – Energia.



2.2.3 Emissões declaradas por empreendedores

Os dois subcapítulos anteriores mostram os procedimentos para obtenção das emissões atmosféricas exclusivamente com dados obtidos junto ao CTF/APP (BRASIL, [s. d.]a) e seus formulários do RAPP (BRASIL, [s. d.]b), complementados por dados setoriais obtidos em outras fontes públicas.

Para obter dados de emissões medidas e declaradas por empreendedores, considerando a abordagem *Tier 3* do Guia EMEP/EEA (EEA, 2023), foram emitidos ofícios para 13 associações industriais e 74 grupos empresariais (**Tabela 4**). A seleção das entidades e empresas contatadas foi realizada a partir dos setores industriais previamente mapeados na **Tabela 1**, priorizando aqueles de maior relevância para o inventário e com maior grau de organização e representatividade setorial, buscando-se direcionar a consulta aos segmentos com maior potencial de contribuição para o levantamento de dados primários de emissões atmosféricas.

Nessa etapa, foi solicitado o encaminhamento de inventários de emissões atmosféricas, realizados por medição direta ou incluídos em Estudos de Dispersão Atmosférica (EDA), referentes aos anos de 2017 a 2023. Foram consideradas as respostas encaminhadas até março de 2026.

Tabela 4. Associações e empresas convidadas para participação no estudo.

Associação ou Entidade	Número de empresas vinculadas contatadas
Confederação Nacional das Indústrias (CNI)	-
Instituto Brasileiro de Árvores (Ibá)	7
Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP)	9
Instituto Aço Brasil	11
Associação Brasileira da Indústria de Fundição (Abifa)	-
Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (Abrema)	-
Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM)	19
Associação Brasileira das Indústrias de Ferroligas e Silício Metálico (Abrafe)	-
Associação Brasileira das Indústrias de Vidro (Abividro)	11
Associação Brasileira do Alumínio (ABAL)	2
Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea)	-
Associação Brasileira das Indústrias Químicas (Abiquim)	6
Associação Brasileira Geradoras Termelétricas (ABRAGET)	9

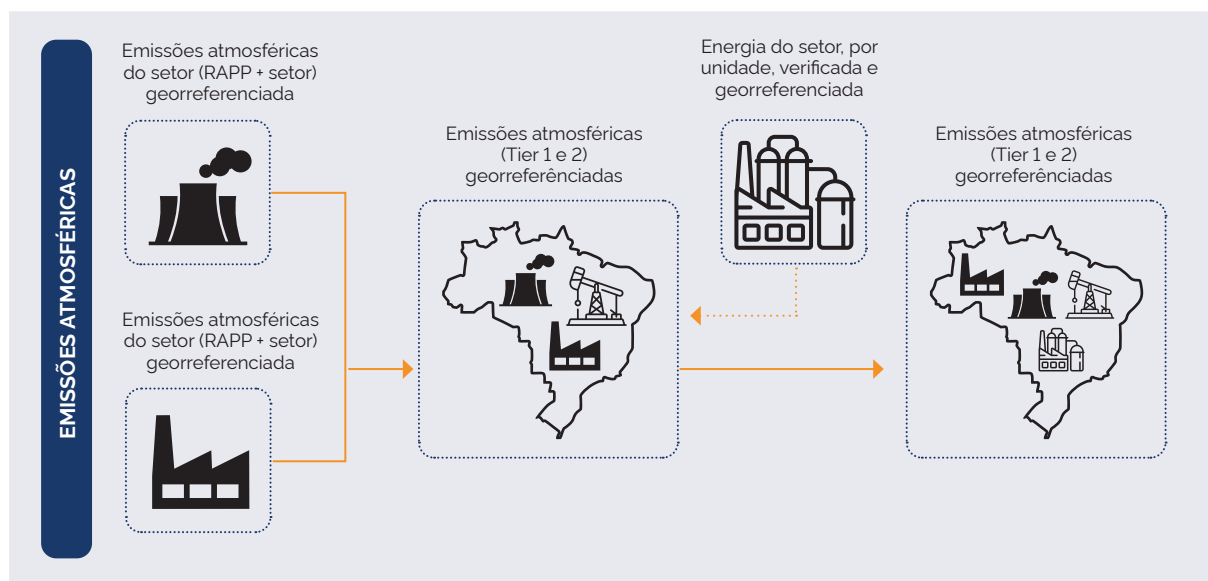
Fonte: elaborado pelo autor.

2.3 Agregação de dados de diferentes níveis metodológicos

As taxas de emissões obtidas em diferentes *Tiers* foram agregadas seguindo uma hierarquia de qualidade dos dados, conforme a recomendação do Guia do EMEP/EEA (EEA, 2023). Nesse caso, os dados declarados obtidos junto ao setor produtivo foram classificados como *Tier* 3, sobrepondo eventuais dados classificados como *Tier* 1 ou 2 para a mesma fonte de emissão.

Dos ofícios encaminhados ao setor produtivo, conforme apresentado na **Tabela 4**, foram recebidos inventários de emissões atmosféricas com dados passíveis de utilização para 35 unidades produtivas. As demais respostas não foram incorporadas às estimativas quando apresentaram informações incompatíveis com o escopo do inventário, como dados restritos a emissões de gases de efeito estufa (GEE), ou dados considerados inconsistentes para fins de quantificação das emissões de poluentes atmosféricos. O procedimento realizado de agregação das emissões, de acordo com sua origem (energia ou processo), por setor e por *Tier* é ilustrado na **Figura 6**.

Figura 6. Agregação de emissões por setor e Tier.



Fonte: elaborado pelo autor.

O produto é um banco de dados, em formato .csv, contendo as emissões atmosféricas desagregadas por setor (conforme NFR), *Tier* (1, 2 ou 3), emissão de poluentes (em t/ano), localização geográfica (latitude e longitude), município e UF. Em termos de representatividade do volume de dados processados, a base consolidada é composta por 82,2% de estimativas em *Tier* 1, 17,5% em *Tier* 2 e somente 0,3% em *Tier* 3, refletindo a proporção direta das linhas de dados processadas no inventário.



NOTA

Para os fins deste inventário, considera-se **fonte fixa** qualquer instalação, equipamento ou processos de uma indústria situados em local fixo e capazes de emitir poluentes atmosféricos de forma contínua, intermitente ou eventual. As fontes fixas podem ser tanto emissões canalizadas, como chaminés e dutos, quanto emissões difusas e fugitivas.

O **empreendimento emissor** corresponde ao estabelecimento ou complexo industrial constituído por uma ou mais fontes fixas sob a responsabilidade de um mesmo operador. Por exemplo, indústrias de produção de papel e celulose possuem emissões associadas ao processo de combustão externa, produção de cal e produção de celulose, que neste relatório são tratados como categorias de fontes fixas distintas. Neste inventário, o enquadramento de acordo com seu potencial de emissão considera o conjunto das emissões de todas as fontes fixas que compõem o empreendimento, proporcionando uma análise integrada de seus impactos sobre a qualidade do ar.

Os dados em nível **Tier 3** correspondem a informações agregadas por empreendimento emissor, obtidas pela consolidação das emissões e demais dados de todas as fontes fixas pertencentes a um mesmo estabelecimento.

2.4 Limitações

Embora o presente inventário tenha sido desenvolvido com base em metodologias consolidadas internacionalmente e em dados oficiais disponíveis, algumas limitações inerentes à disponibilidade de informações e à escala de aplicação devem ser consideradas na interpretação dos resultados. Essas limitações são semelhantes às observadas em inventários nacionais elaborados segundo as diretrizes do EMEP/EEA *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook* (EEA, 2023), que reconhece que as estimativas de emissões estão sujeitas a incertezas decorrentes da qualidade dos dados de atividade, da representatividade dos fatores de emissão e das simplificações metodológicas adotadas.

As principais limitações deste inventário são apresentadas a seguir.

- **Estimativas em nível de empreendimento, e não por fonte individual:** As emissões foram estimadas considerando o empreendimento como unidade de cálculo, não sendo realizada a quantificação individualizada de cada fonte emissora (chaminés, fornos, caldeiras, secadores, reatores, entre outros). Essa abordagem é compatível com a disponibilidade de informações em escala nacional, porém limita análises detalhadas de dispersão atmosférica e avaliações específicas de processos industriais.
- **Incertezas na localização das fontes de emissão:** A espacialização das emissões foi realizada a partir da localização geográfica dos empreendimentos. Entretanto, a posição real dos pontos de emissão pode diferir significativamente do ponto cadastral utilizado, especialmente em instalações industriais de grande porte ou com múltiplas unidades operacionais, introduzindo incertezas na distribuição espacial das emissões.

2. Metodologia

- **Qualidade e consistência dos dados de atividade:** As estimativas dependem diretamente das informações declaradas pelos empreendimentos nos sistemas oficiais. Inconsistências cadastrais, informações incompletas, erros de preenchimento, diferenças na interpretação das variáveis declaradas e ausência de dados podem afetar a precisão das estimativas. Além disso, nem sempre os dados disponíveis apresentam o nível de detalhamento necessário para representar adequadamente todos os processos produtivos.
- **Representatividade dos fatores de emissão:** Os fatores de emissão empregados representam valores médios obtidos na literatura técnica e em bases de referência internacionais ou nacionais. Esses fatores podem não refletir integralmente as características tecnológicas, operacionais, matérias-primas, combustíveis e condições específicas de cada instalação industrial brasileira, constituindo uma das principais fontes de incerteza dos inventários de emissões.
- **Representação dos equipamentos de controle de emissões:** A eficiência dos sistemas de controle ambiental varia significativamente entre empreendimentos em função da tecnologia instalada, do estado de conservação, das condições operacionais e das práticas de manutenção. Em muitos casos, informações detalhadas sobre os equipamentos de controle não estão disponíveis ou não apresentam nível suficiente de confiabilidade para serem incorporadas às estimativas, sendo necessário adotar eficiências médias ou hipóteses simplificadoras.
- **Baixa disponibilidade de inventários de emissões elaborados pelos empreendimentos:** Durante o desenvolvimento deste inventário foram coletados inventários de emissões diretamente junto ao setor produtivo para subsidiar a avaliação metodológica. Entretanto, apenas uma parcela reduzida dos setores e empreendimentos respondeu ao levantamento (um total de 35 empreendimentos com dados utilizáveis no inventário), limitando a representatividade estatística da comparação entre as estimativas obtidas e inventários específicos. Consequentemente, a calibração dos fatores de emissão e a validação dos resultados ainda apresentam limitações para alguns segmentos industriais.
- **Cobertura e detalhamento das atividades industriais:** Em alguns setores econômicos, as informações disponíveis não permitem identificar com precisão as tecnologias empregadas, a capacidade instalada, os combustíveis efetivamente utilizados ou a distribuição da produção entre diferentes processos. Nesses casos, foi necessária a adoção de hipóteses simplificadoras e parâmetros médios para a estimativa das emissões.
- **Escala de aplicação do inventário:** Este inventário foi desenvolvido para subsidiar análises em escala nacional e estadual, sendo adequado para avaliações

2. Metodologia

estratégicas, elaboração de políticas públicas e planejamento da gestão da qualidade do ar. Os resultados não devem ser utilizados diretamente para avaliações em escala de empreendimento, licenciamento ambiental ou estudos de dispersão atmosférica sem a realização de inventários específicos e mais detalhados.

- **Incertezas inerentes aos inventários de emissões:** Conforme reconhecido pelo EMEP/EEA *Guidebook* (EEA, 2023), todo inventário de emissões está sujeito a diferentes fontes de incerteza relacionadas aos dados de atividade, fatores de emissão, hipóteses metodológicas, classificação das atividades econômicas e disponibilidade de informações. Dessa forma, as estimativas apresentadas devem ser interpretadas como as melhores estimativas possíveis com base nas informações atualmente disponíveis, estando sujeitas a aperfeiçoamentos contínuos à medida que novos dados, fatores de emissão nacionais e inventários estaduais e setoriais sejam desenvolvidos.

3

3. Resultados

Esta seção apresenta os resultados do inventário nacional de emissões atmosféricas por fontes fixas industriais para o período de 2017 a 2023. As subseções a seguir abrangem a caracterização da distribuição espacial das fontes inventariadas e a quantificação das emissões por poluente, setor e UF, bem como a classificação de relevância das fontes e análise de tendências temporais interanuais.



NOTA

Neste inventário, as análises são conduzidas predominantemente em nível de unidade de fonte fixa. O item **3.1** apresenta a quantificação das fontes fixas e dos empreendimentos emissores inventariados. Excepcionalmente, o item **3.2.2 – Enquadramento dos empreendimentos de acordo com o potencial de emissão de poluentes atmosféricos** adota o empreendimento emissor como unidade de análise, considerando o potencial de emissão resultante do conjunto de todas as suas fontes fixas.

3.1 Quantificação de empreendimentos e fontes inventariadas

Esta subseção apresenta a quantificação das fontes fixas industriais incluídas no inventário. A **Figura 7** apresenta a distribuição espacial dos empreendimentos inventariados, considerando cada empreendimento uma única vez, independentemente do número de fontes de emissão associadas. Esta abordagem é adequada para quantificar o número de empresas distintas que foram consideradas no inventário de emissões.

Em todo o país, para o ano de 2023, foram inventariadas as emissões atmosféricas de 11.641 empreendimentos, distribuídos em 2.427 municípios, correspondendo a 43,6% dos municípios brasileiros, e abrangendo as 27 Unidades da Federação. Esse número é substancialmente superior ao observado no primeiro ano avaliado, 2017, quando foram registrados 9.138 empreendimentos com emissões atmosféricas, distribuídos em 2.152 municípios.

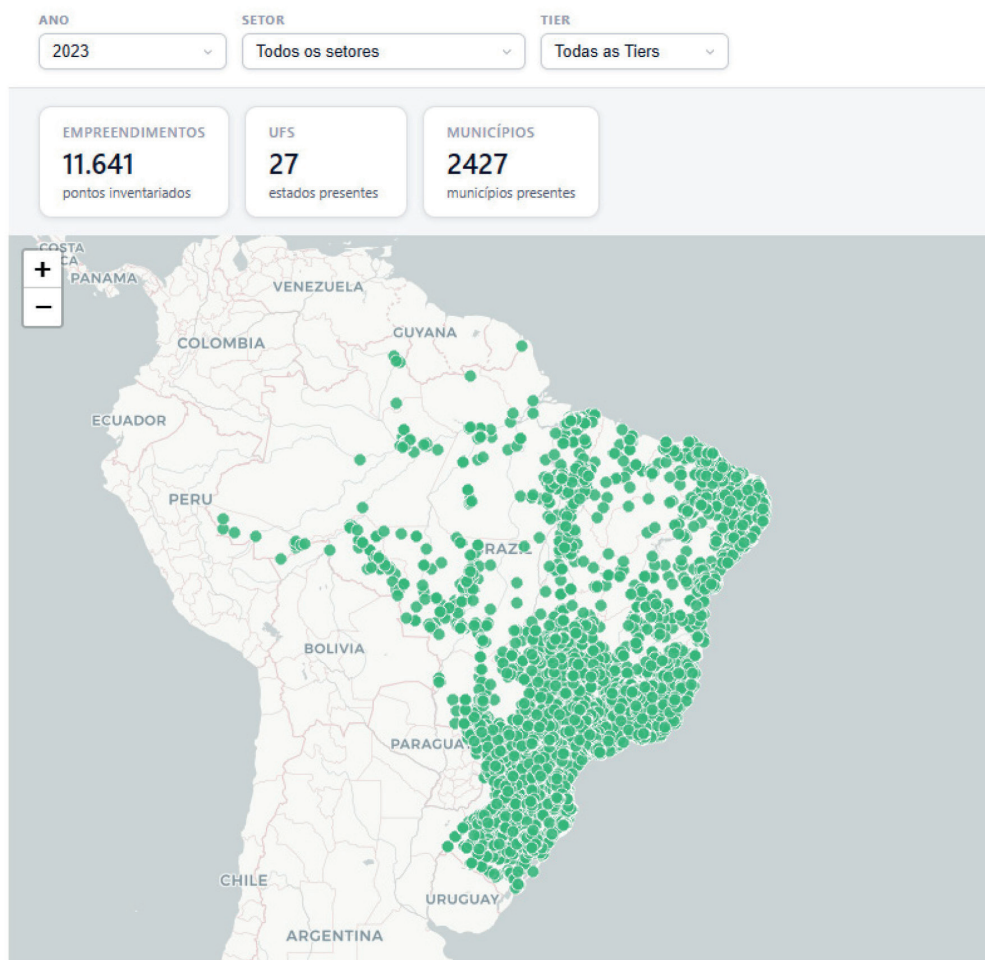
As **Figuras 8 e 9** apresentam, respectivamente, o número de fontes fixas associadas às diferentes categorias de processos emissores consideradas no inventário, para o total do país e por Unidade da Federação. Essas categorias seguem a classificação *NFR* adotada no inventário e apresentada na **Tabela 1**. Nesse caso, um mesmo empreendimento pode contribuir com mais de uma fonte fixa, uma vez que suas emissões podem estar associadas a diferentes processos emissores. Ressalta-se que esses registros não correspondem necessariamente a fontes físicas individuais, como chaminés, caldeiras ou outros equipamentos. As fontes existentes em um empreendimento são agregadas de acordo com os processos emissores e as respectivas categorias *NFR* consideradas nas estimativas.

Por exemplo, um empreendimento do setor de papel e celulose pode apresentar fontes de emissão associadas a diferentes categorias *NFR*, como 1.A.2.d (Combustão na indústria de celulose, papel e gráfica), 2.A.2 (Fabricação de cal) e 2.H.1 (Fabricação de papel e celulose). Assim, embora corresponda a um único empreendimento na contabilização apresentada na **Figura 7**, ele pode contribuir com registros em diferentes categorias nas **Figuras 8 e 9**.

De forma geral, observou-se aumento no número de fontes inventariadas ao longo do período analisado, passando de 12.339 em 2017 para 16.113 em 2023 (**Figura 8**). Esse crescimento foi impulsionado principalmente pelos registros associados aos processos de combustão, cujo quantitativo aumentou de 9.890 para 13.576 entre 2017 e 2023 (**Figura 10**). Destaca-se que a categoria de combustão envolve diferentes segmentos industriais, incluindo combustão na indústria de ferro e aço, metais não ferrosos, minerais não metálicos, indústria química, papel e celulose, indústria alimentícia, bebidas e tabaco, indústria sucroalcooleira, além de outras atividades industriais e sistemas de combustão externa. Essa característica contribui para sua ampla representatividade no inventário em comparação aos demais setores.

3. Resultados

Figura 7. Distribuição espacial dos empreendimentos inventariados.



Fonte: elaborado pelo autor.

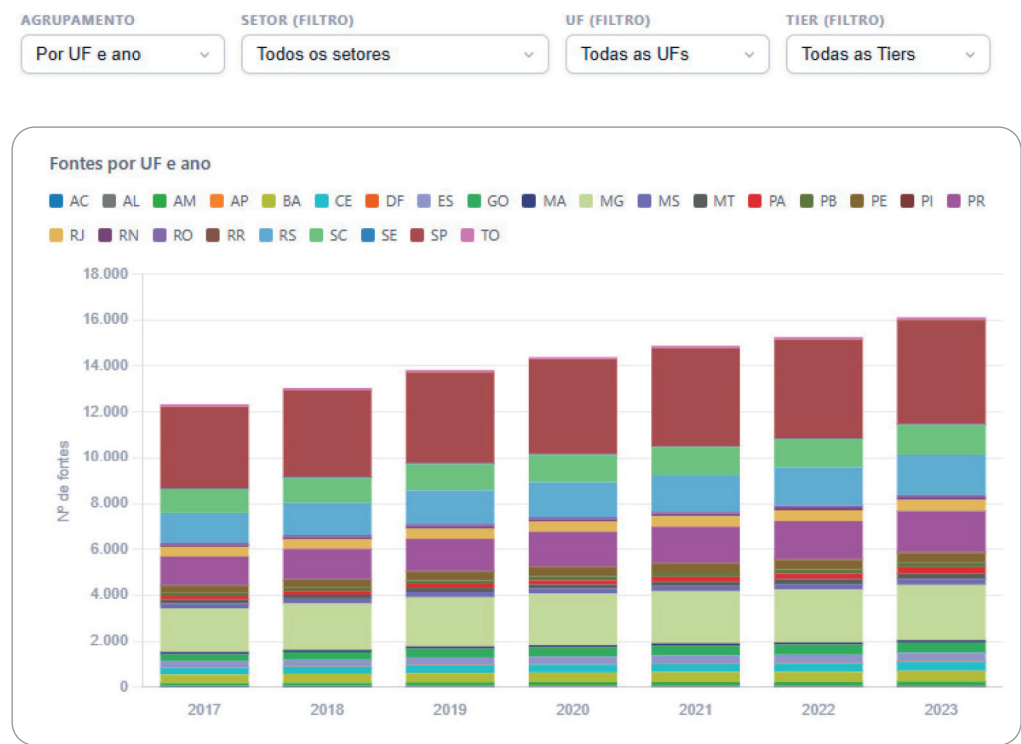
Figura 8. Número de fontes inventariadas no período de 2017 a 2023.



Fonte: elaborado pelo autor.

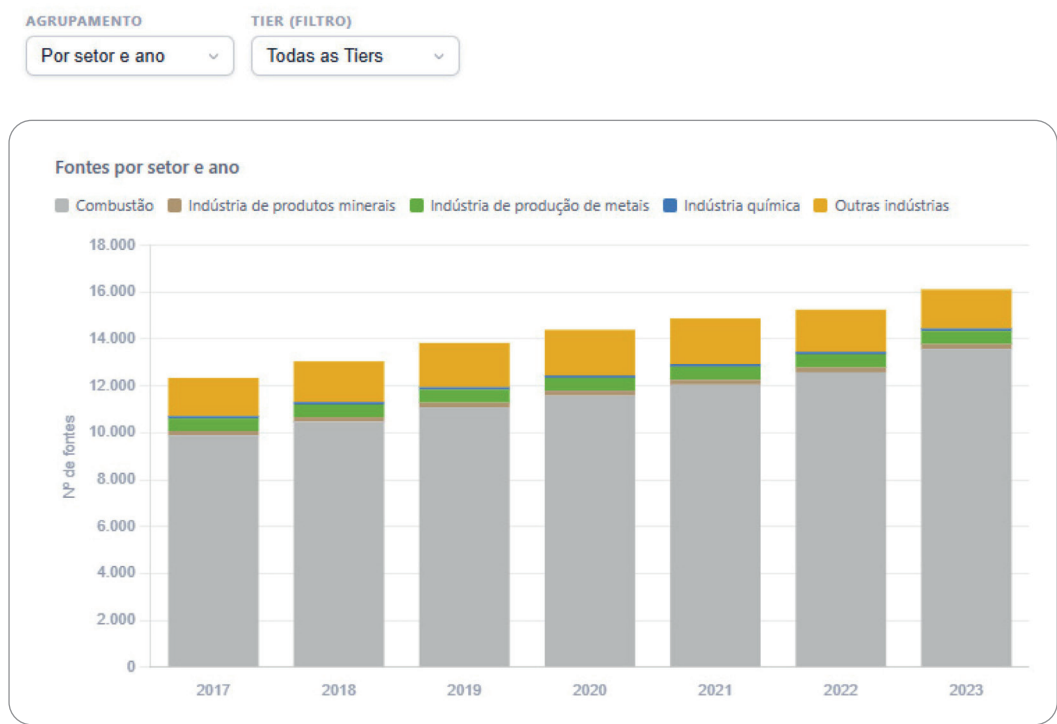
3. Resultados

Figura 9. Número de fontes inventariadas por UF no período de 2017 a 2023.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 10. Número de fontes inventariadas por setor no período de 2017 a 2023.



Fonte: elaborado pelo autor.

3.2 Quantificação das taxas de emissões

Esta subseção apresenta a quantificação das taxas de emissões atmosféricas inventariadas, incluindo a visualização das taxas de emissão de diferentes poluentes atmosféricos, setores industriais e períodos inventariados. A representação espacial das taxas de emissões (**Figura 11**) é realizada por meio de símbolos proporcionais, nos quais o tamanho dos círculos é diretamente relacionado à magnitude da taxa de emissão da respectiva fonte. Dessa forma, fontes com maiores emissões apresentam maior destaque visual, facilitando a identificação de áreas e fontes com maior contribuição. Também são apresentados os indicadores quantitativos, incluindo a emissão total de cada poluente, o número de fontes emissoras e o número de setores representados.

Figura 11. Distribuição espacial das taxas de emissões de MP2,5 no Brasil em 2023.

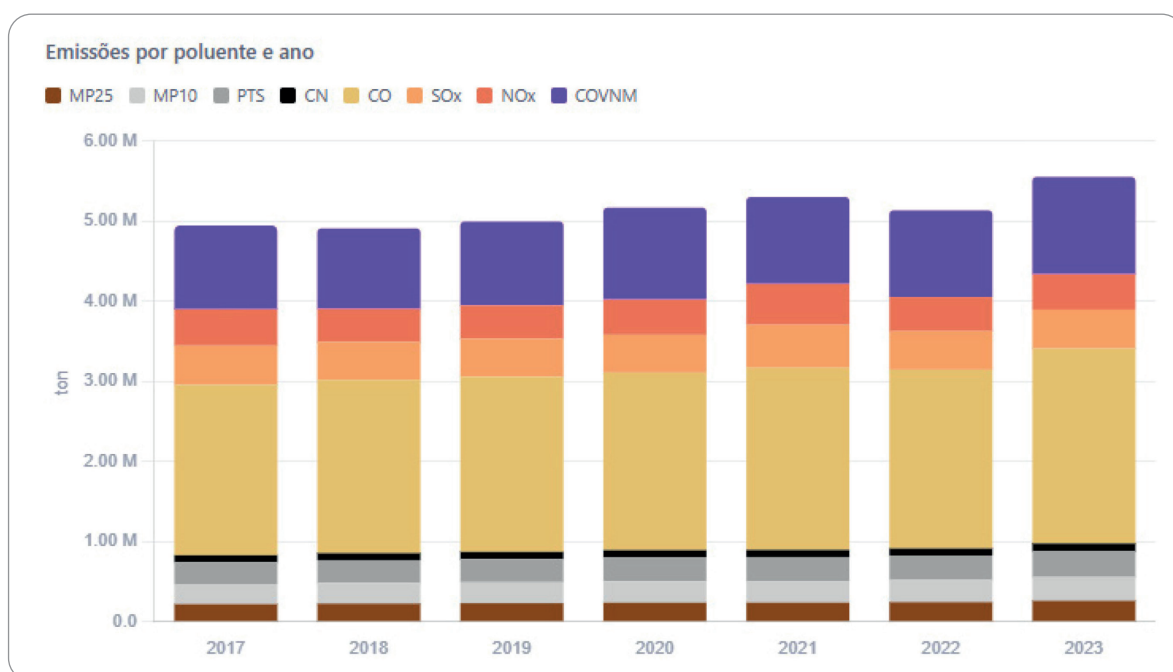


Fonte: elaborado pelo autor.

3. Resultados

A **Figura 12** apresenta a evolução temporal das taxas anuais de emissões atmosféricas inventariadas. De maneira geral, observa-se que as emissões de CO, COVNM, SO_x e NO_x representam a maior parcela das emissões totais ao longo de todo o período inventariado. Também é possível identificar uma tendência de crescimento das emissões entre 2017 e 2021, seguida por uma redução em 2022 e novo aumento em 2023. Esse comportamento é predominantemente influenciado pelas variações nas emissões de NO_x, SO_x e CO.

Figura 12. Quantificação das taxas de emissões de MP_{2,5}, MP₁₀, PTS, CN, CO, SO_x, NO_x e COVNM no Brasil.



Fonte: elaborado pelo autor.

As **Figuras 13 a 19** mostram, respectivamente, a evolução das taxas anuais de emissões de PTS, MP_{2,5}, MP₁₀, NO_x, SO_x, CO e COVNM entre 2017 e 2023. No caso do PTS (**Figura 13**), observa-se um crescimento gradual das emissões ao longo do período. As emissões de MP_{2,5} (**Figura 14**) e MP₁₀ (**Figura 15**) possuem comportamento temporal similar ao PTS.

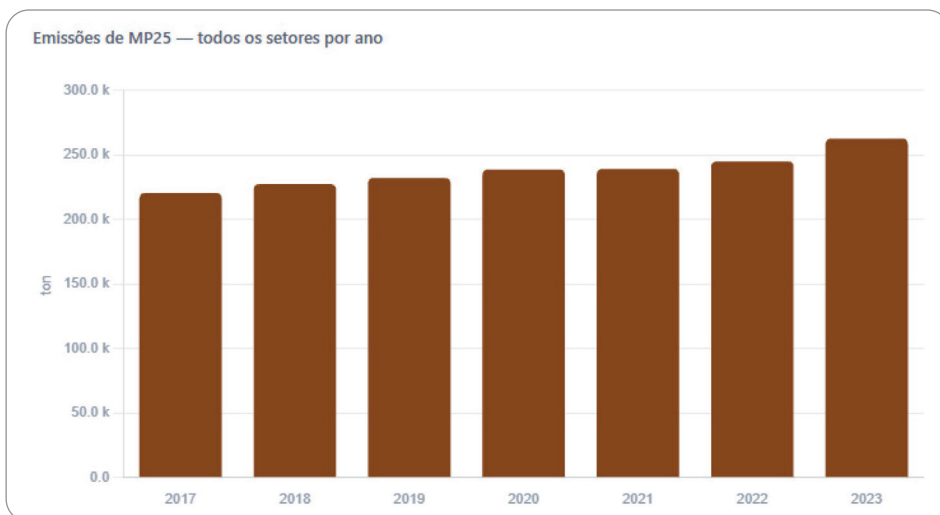
3. Resultados

Figura 13. Quantificação das taxas de emissões de PTS no Brasil.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 14. Quantificação das taxas de emissões de $MP_{2.5}$ no Brasil.



Fonte: elaborado pelo autor.

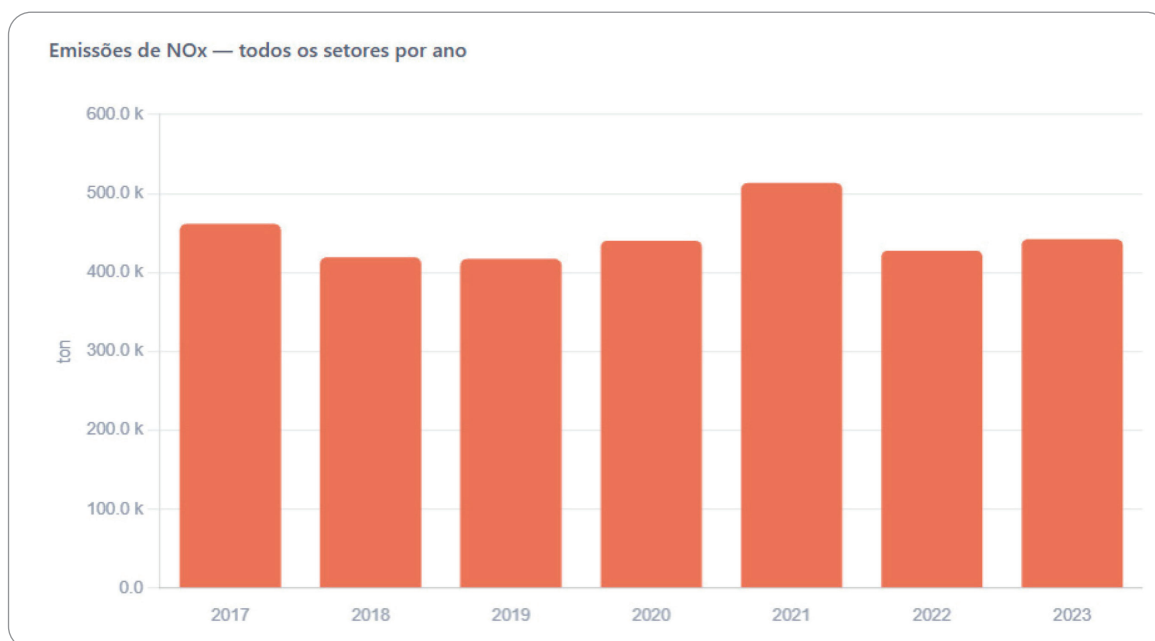
Figura 15. Quantificação das taxas de emissões de MP_{10} no Brasil.



Fonte: elaborado pelo autor.

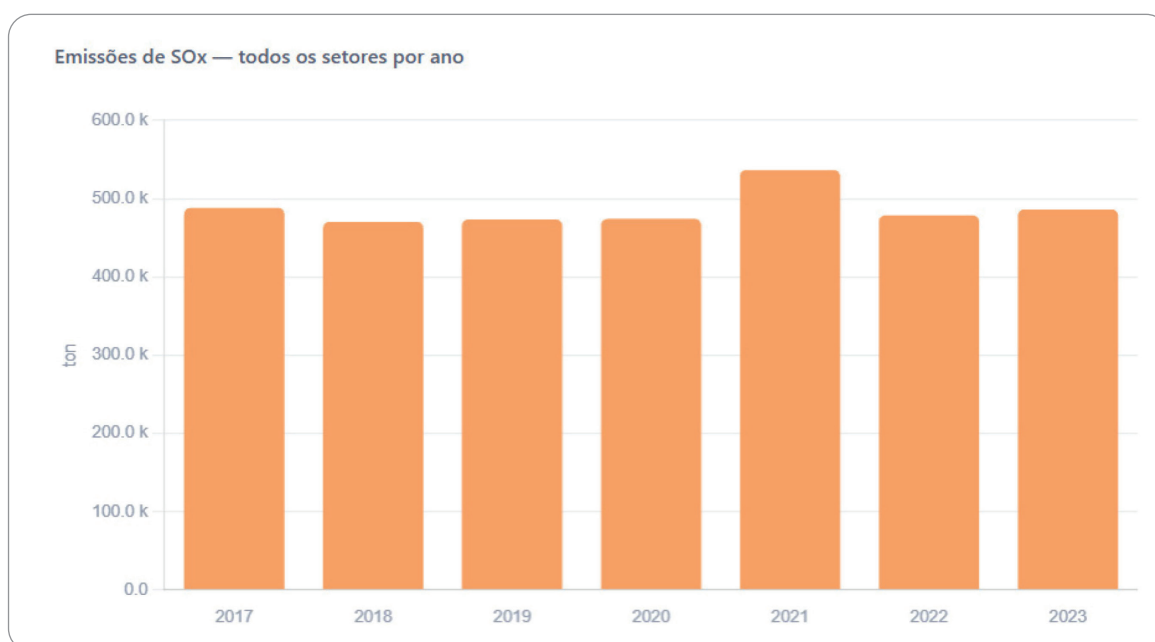
O padrão das emissões de NO_x (**Figura 16**) e SO_x (**Figura 17**) é caracterizado por um aumento entre 2018 e 2021, com incremento mais expressivo entre 2020 e 2021, seguido por redução em 2022 e novo crescimento em 2023. As emissões de CO (**Figura 18**) possuem comportamento temporal similar ao NO_x e SO_x .

Figura 16. Quantificação das taxas de emissões de NO_x no Brasil.

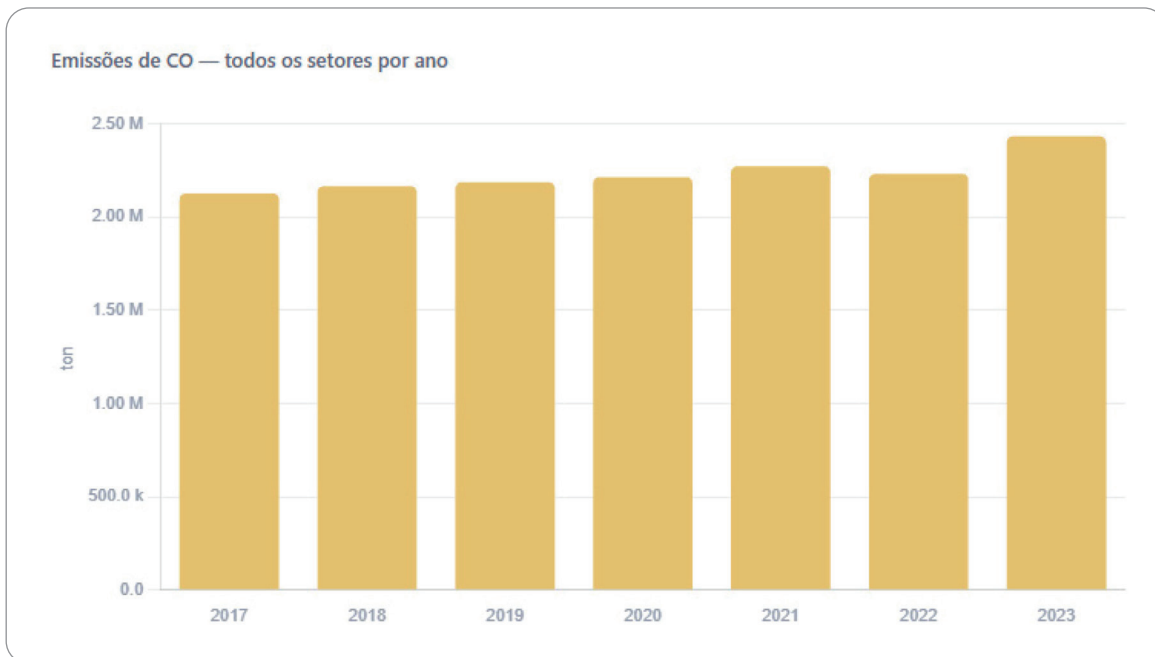


Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 17. Quantificação das taxas de emissões de SO_x no Brasil.

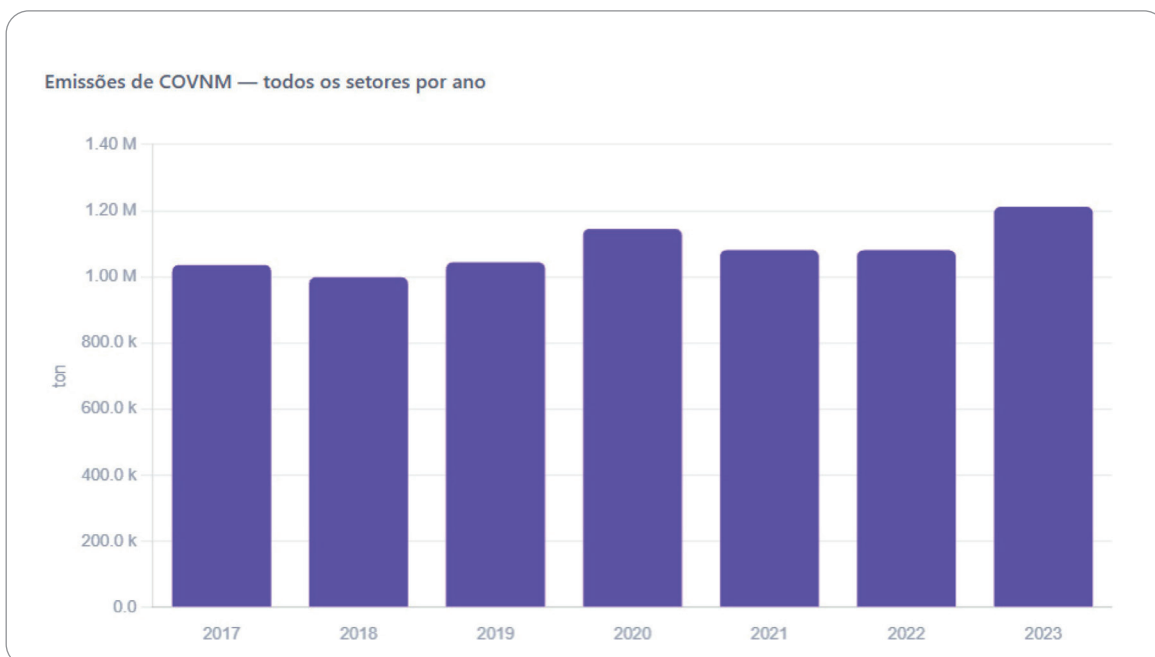


Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 18. Quantificação das taxas de emissões de CO no Brasil.

Fonte: elaborado pelo autor.

Em contraste, as emissões de COVM (Figura 19) cresceram gradualmente entre 2018 e 2020, com redução entre 2020 e 2021 e aumento expressivo em 2023, indicando uma dinâmica temporal distinta dos outros poluentes.

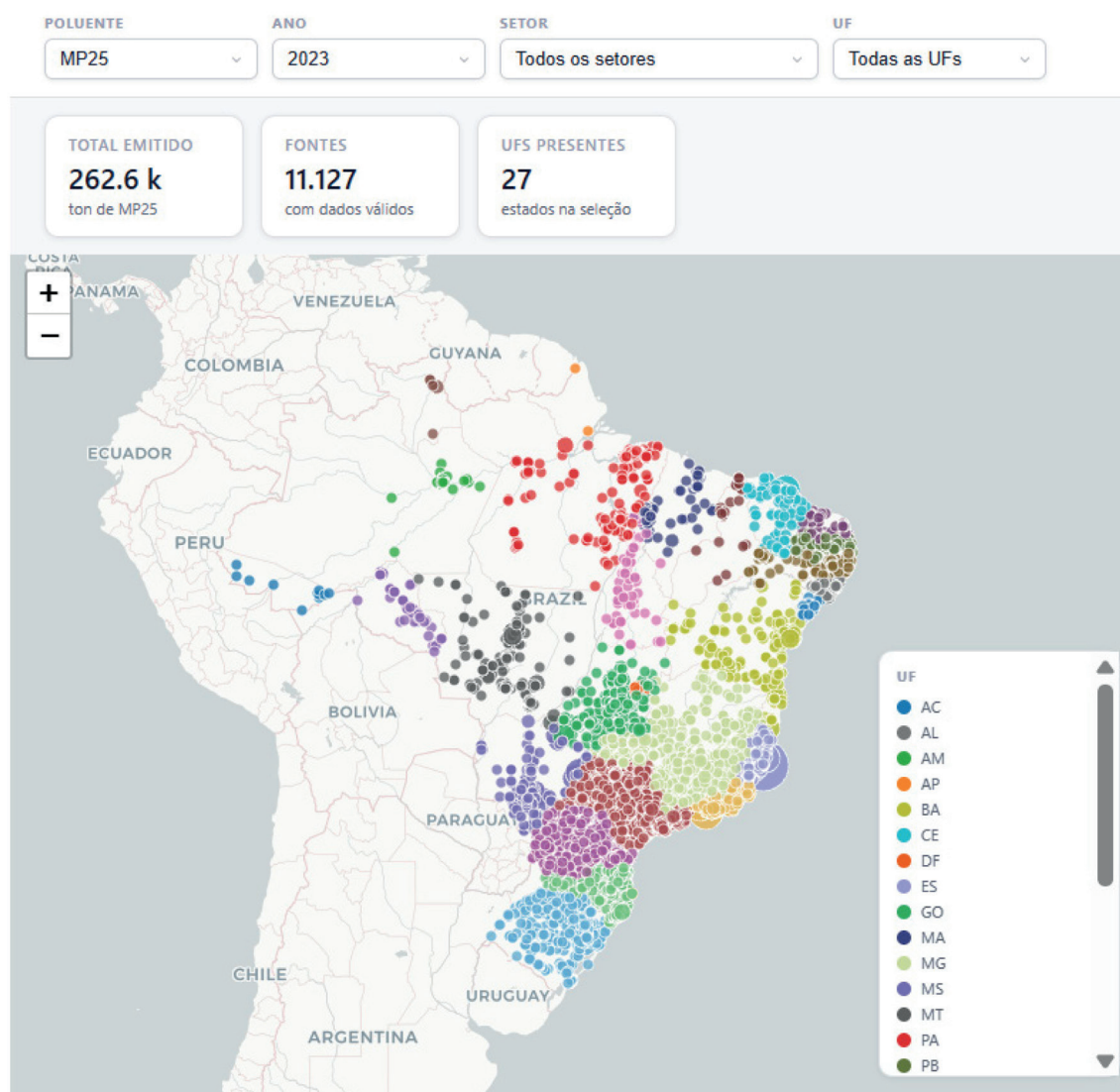
Figura 19. Quantificação das taxas de emissões de COVM no Brasil.

Fonte: elaborado pelo autor.

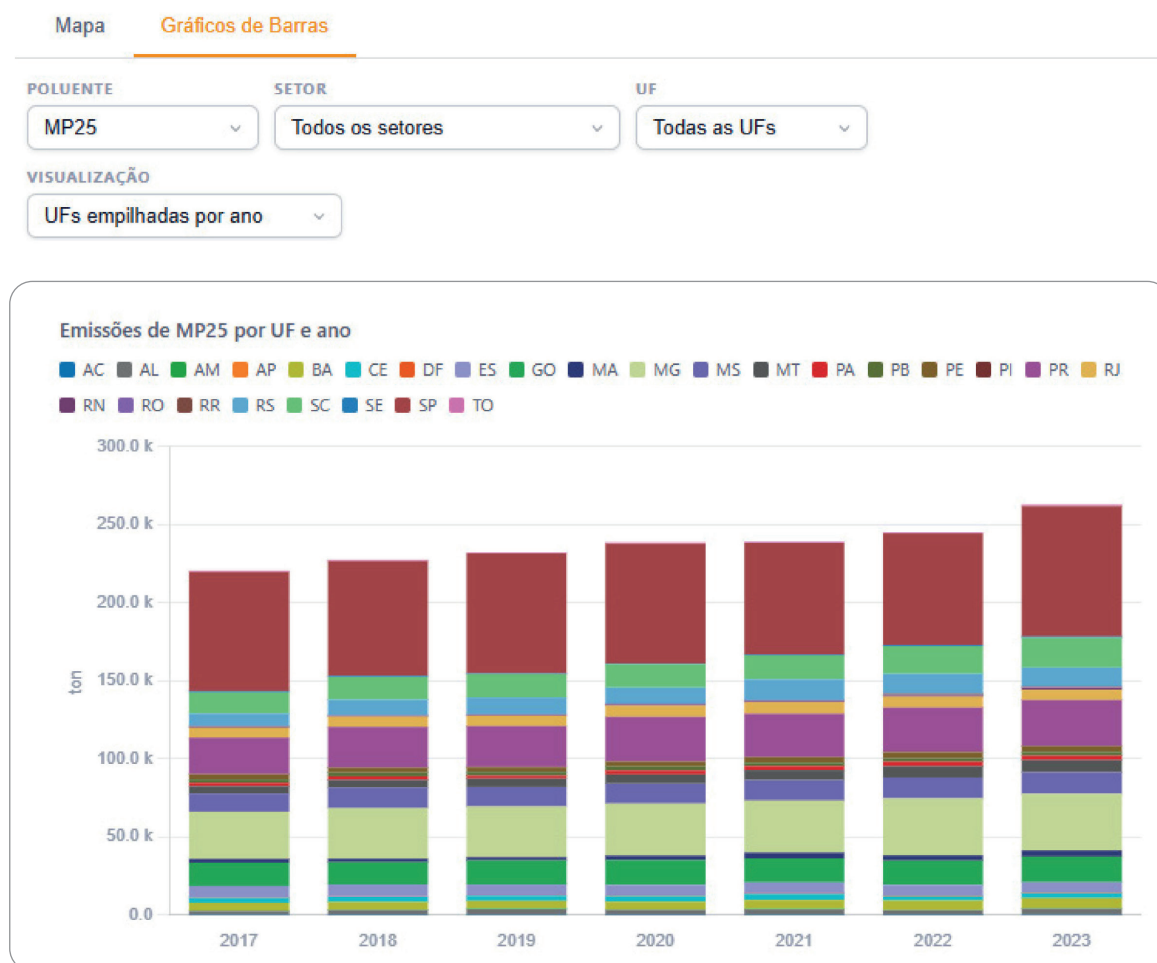
3.2.1 Emissões por UF no Brasil

Esta subseção expande a Seção 3.2, permitindo a análise para cada UF no Brasil. A **Figura 20** mostra a distribuição espacial das fontes emissoras localizadas em cada UF, enquanto a **Figura 21** mostra a quantificação das emissões. Os indicadores apresentados incluem a emissão total do poluente analisado (a título exemplificativo, foi selecionado o $MP_{2,5}$) e o número de fontes emissoras, por setor de interesse (associado ao NFR, conforme **Tabela 1**), presentes em cada região do Brasil.

Figura 20. Distribuição espacial das taxas de emissões de $MP_{2,5}$ por UF no Brasil.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 21. Quantificação das taxas de emissões de $MP_{2,5}$ por UF no Brasil.

Fonte: elaborado pelo autor.

3.2.2 Enquadramento dos empreendimentos de acordo com o potencial de emissão de poluentes atmosféricos

Nesta seção, apresenta-se o enquadramento e a distribuição dos empreendimentos inventariados com base nos volumes de emissão. A classificação das instalações em categorias de relevância permite dimensionar a contribuição efetiva de cada fonte e compreender o seu papel na composição do inventário nacional.

Os empreendimentos podem ser enquadrados conforme o seu potencial de emissão, definido como a capacidade máxima de emissão sob operação contínua, ou pelas emissões que efetivamente ocorreram durante um determinado período de operação, se disponíveis (USEPA, 2024a). Na regulamentação da *US EPA*, o limite típico para enquadramento como empreendimento majoritário é de 100 t/ano para cada um dos denominados poluentes critério, grupo de poluentes atmosféricos para os quais são estabelecidos padrões de qualidade do ar, enquanto o enquadramento de empreendimentos minoritários pode variar de acordo com o poluente (USEPA, 2024b).



NOTA

(a) Majoritários: são aqueles cujo potencial de emissão excede os limiares estabelecidos para a área de interesse, apresentando maior capacidade de deteriorar a qualidade do ar. Para esse enquadramento, foram adotados como limiares de emissão 100 toneladas por ano para cada um dos poluentes: PTS, MP_{10} , $MP_{2,5}$, CO, NO_x , SO_x e COVNM.

(b) Intermediários: representam uma categoria intermediária, composta por empreendimentos que, embora não ultrapassem os limiares de classificação como majoritários, podem demandar avaliação adicional em função de características específicas, tais como localização em áreas sensíveis, proximidade de receptores críticos ou emissão de poluentes de maior relevância. Enquadram-se nessa categoria os empreendimentos cujos potenciais de emissão sejam superiores aos limites estabelecidos para minoritários e iguais ou inferiores aos limites adotados para majoritários.

(c) Minoritários: são aqueles com potencial de emissão reduzido, incapazes de provocar impactos significativos na qualidade do ar. Para esse enquadramento, foram adotados como limiares de emissão 10 toneladas por ano para: CO, NO_x , SO_x e PTS; 5 toneladas por ano para COVNM e MP_{10} ; e 3 toneladas por ano para $MP_{2,5}$.

Neste estudo, adotou-se como referência para o enquadramento de empreendimentos os limites de emissão aplicáveis às áreas em conformidade com os padrões de qualidade do ar, assim definidas pela regulamentação da US EPA por apresentarem concentrações de poluentes que atendem aos Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (*National Ambient Air Quality Standards* - NAAQS) dos Estados Unidos (USEPA, 2024a, 2024b), com maior detalhamento na Nota ao lado.

Assim, os empreendimentos que compõem este inventário foram classificados em três categorias: (a) Majoritários, (b) Intermediários e (c) Minoritários.

A **Figura 22** mostra a distribuição espacial do enquadramento dos empreendimentos, bem como a quantificação das unidades em cada categoria (majoritária, intermediária ou minoritária). A representação da distribuição espacial utiliza simultaneamente variações de tamanho e cor para diferenciar as classes de relevância. Empreendimentos classificados como majoritários recebem maior destaque visual, enquanto intermediários e minoritários são representados por símbolos progressivamente menores.

Adicionalmente, a **Figura 23** mostra o número de empreendimentos emissores em cada classe ao longo do período inventariado, bem como a contribuição das diferentes categorias para as emissões totais em cada região do Brasil.

De modo geral, observou-se um aumento no número de unidades em todas as categorias entre 2017 e 2023, com crescimento mais expressivo de empreendimentos na categoria minoritária. Entre os empreendimentos classificados como majoritários, a maior parte está associada aos processos de combustão nos empreendimentos, independentemente do poluente avaliado, o que eviden-

3. Resultados

cia a predominância desse processo na composição das emissões industriais do inventário. Adicionalmente, observa-se maior concentração de empreendimentos de todas as classes nas regiões Sudeste, Sul e Nordeste.

Para $MP_{2.5}$, o número de empreendimentos majoritários aumentou de 496 em 2017 para 567 em 2023. No mesmo período, os intermediários passaram de 1.628 para 2.201, enquanto os minoritários aumentaram de 6.299 para 8.359.

Para MP_{10} , o número de empreendimentos majoritários aumentou de 526 para 594 entre 2017 e 2023. Os intermediários passaram de 1.304 para 1.757 e os minoritários de 6.593 para 8.776.

Para PTS, os empreendimentos majoritários aumentaram de 557 em 2017 para 629 unidades em 2023. As categorias intermediária e minoritária cresceram de 925 para 1.225 e de 6.956 para 9.287 empreendimentos, respectivamente.

Para CO, o número de empreendimentos majoritários aumentou de 968 para 1.171 entre 2017 e 2023. Os intermediários passaram de 1.261 para 1.733 e os minoritários de 5.767 para 7.793.

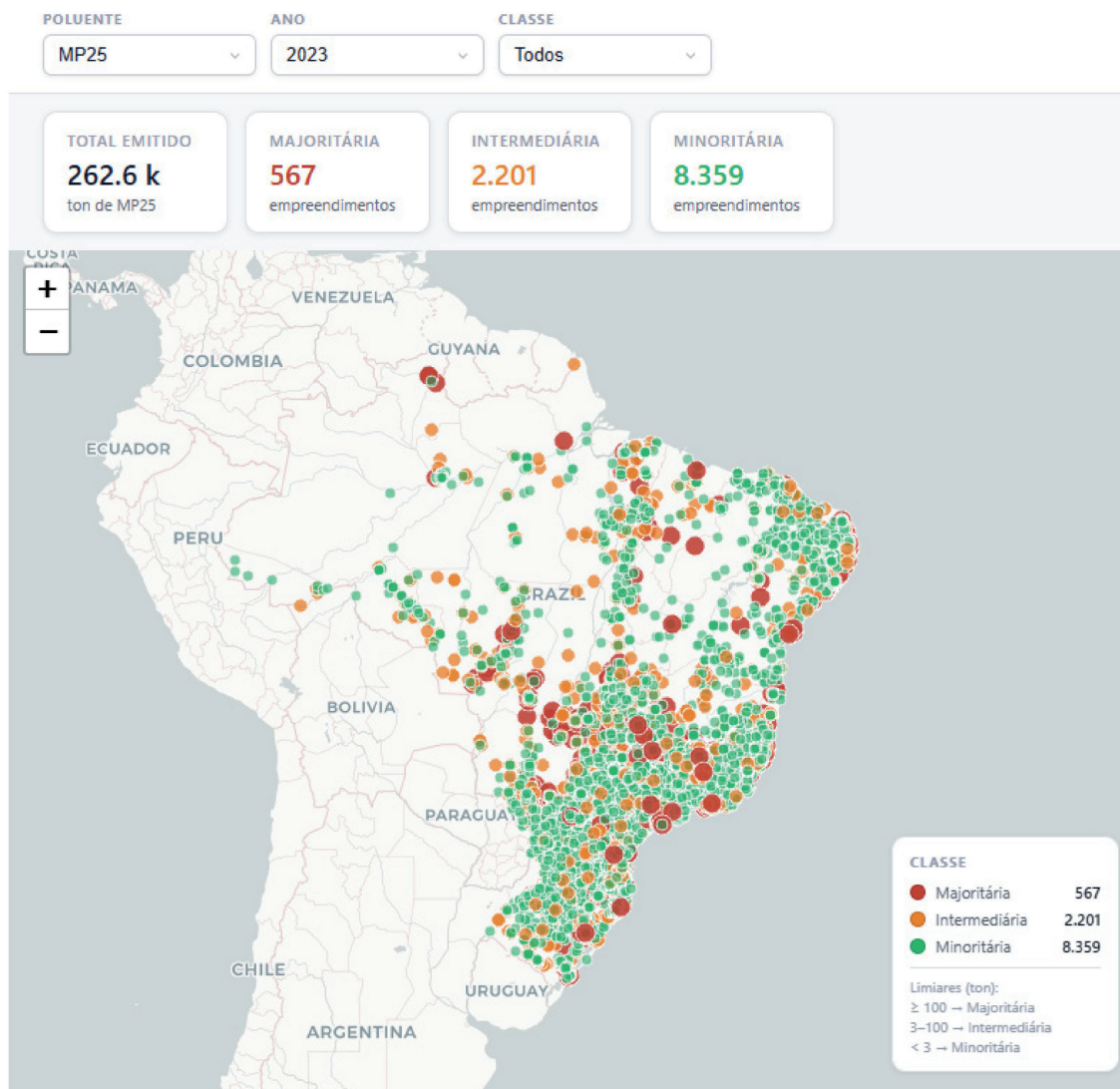
Para SO_x , os empreendimentos majoritários aumentaram de 404 para 416 entre 2017 e 2023. Os intermediários cresceram de 546 para 680 e os minoritários de 7.087 para 9.646.

Para NO_x , foram identificados 595 empreendimentos majoritários em 2017 e 623 em 2023. Os intermediários aumentaram de 921 para 1.242, enquanto os minoritários passaram de 6.505 para 8.859.

Para COVNM, o número de empreendimentos majoritários aumentou de 895 em 2017 para 1.008 em 2023. Os intermediários passaram de 1.687 para 2.272 e os minoritários de 6.255 para 8.151.

3. Resultados

Figura 22. Distribuição espacial dos empreendimentos emissores de $MP_{2.5}$ classificados como majoritários, intermediários e minoritários no Brasil.



Fonte: elaborado pelo autor.

3. Resultados

Figura 23. Quantificação de empreendimentos emissores de $MP_{2,5}$ classificados como majoritários, intermediários e minoritários por ano e região no Brasil.



Fonte: elaborado pelo autor.

3.2.3 Análise de tendências nas emissões industriais

Esta subseção apresenta a avaliação das tendências interanuais das taxas de emissões atmosféricas das fontes inventariadas, considerando a evolução das emissões ao longo do período do inventário.

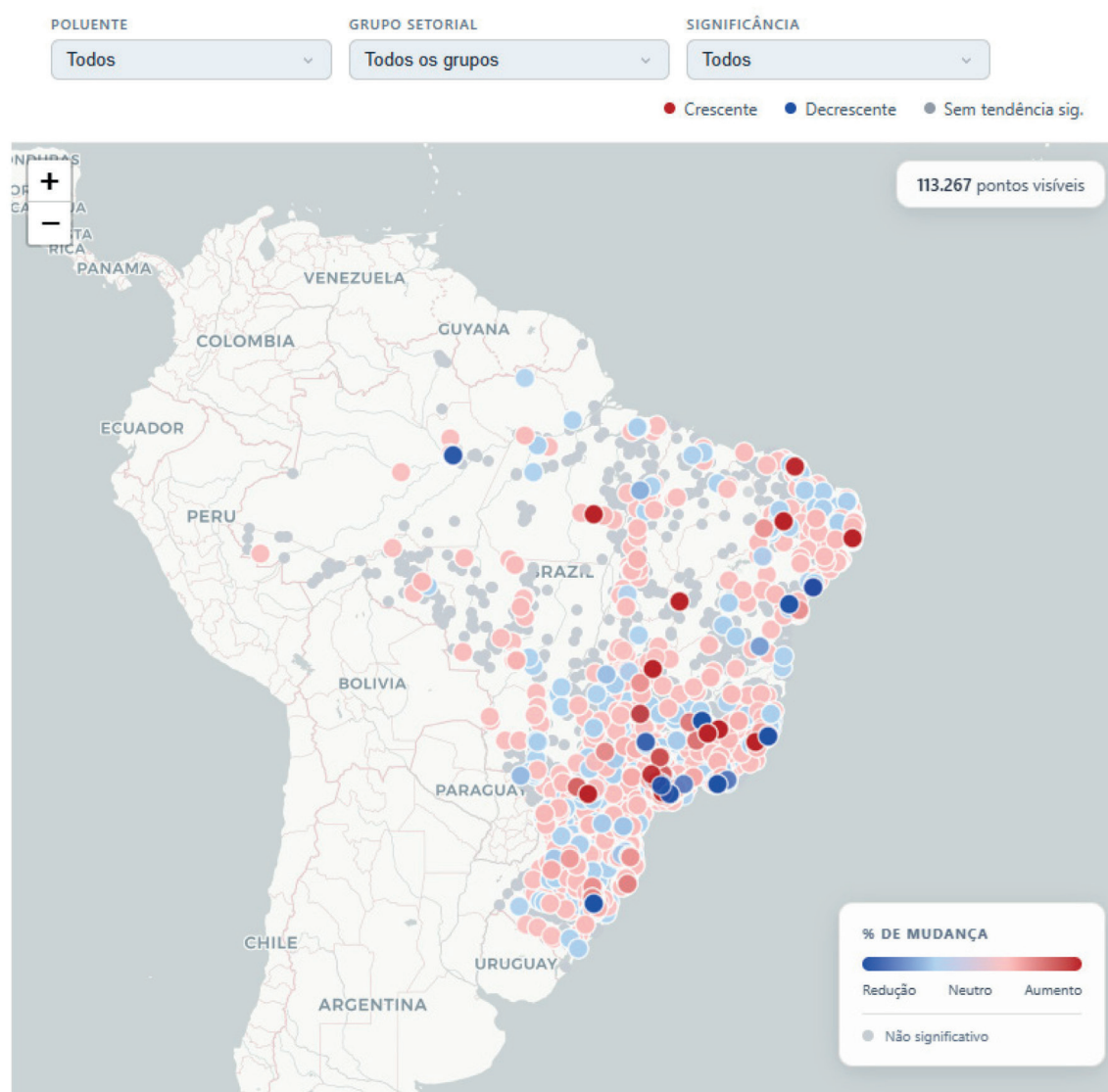
As tendências foram avaliadas a partir de duas técnicas estatísticas não paramétricas: (a) Teste de *Mann-Kendall* (Kendall, 1975; Mann, 1945), empregado para determinar a significância estatística e a direção da tendência (aumento, redução ou ausência de tendência); (b) Estimador de *Theil-Sen* (Theil, 1950), utilizado para calcular a declividade da tendência.

3. Resultados

As análises foram realizadas com base em médias anuais representativas e resultaram em indicadores de tendência individualizados por poluente para cada categoria *NFR* associada a um empreendimento. Como exceção, as informações em nível *Tier 3* são apresentadas de forma agregada, considerando o conjunto das fontes fixas que compõem cada empreendimento emissor. A mudança percentual anual foi estimada a partir da declividade calculada pelo método de Theil-Sen em relação à mediana da série histórica da respectiva categoria *NFR* (denominado grupo setorial na plataforma digital, dividido em setor e subsetor) e poluente.

Os resultados são apresentados de forma espacializada, permitindo a identificação das fontes que apresentaram tendências estatisticamente significativas de aumento ou redução das emissões. A representação da distribuição espacial destaca as fontes com tendências significativas.

Figura 24. Distribuição espacial das tendências interanuais de $MP_{2,5}$ no Brasil.



Fonte: elaborado pelo autor.

Na **Figura 24**, os círculos de coloração cinza indicam tendências não significativas ($p \geq 0,05$), refletindo a ausência de variação estatisticamente detectável nas emissões ao longo do período disponível para cada ponto. Os círculos vermelhos indicam tendência positiva significativa ($p < 0,05$), ou seja, aumento das emissões no período analisado, enquanto os círculos azuis representam tendência negativa significativa, correspondendo à redução das emissões do respectivo poluente. De modo geral, as tendências significativas de maior magnitude foram observadas predominantemente na região Sudeste, embora também tenham sido identificadas tendências significativas em alguns pontos nas regiões Sul e Nordeste. A distribuição espacial dessas tendências apresenta padrão similar entre os poluentes inventariados, indicando consistência nas variações interanuais das emissões ao longo do período analisado. Além disso, há predominância de tendências significativas (sejam crescentes ou decrescentes) associadas às fontes de combustão, refletindo a elevada representatividade desse processo no inventário e sua contribuição para os padrões espaciais e temporais identificados.

4

Considerações finais

O presente documento apresenta o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Fontes Fixas Industriais do Brasil, que, além de atender à obrigação legal estabelecida pela Política Nacional de Qualidade do Ar, constitui uma importante ferramenta para subsidiar a gestão da qualidade do ar no país. Neste trabalho, é disponibilizada uma base de dados nacional padronizada, transparente e de acesso público sobre as emissões atmosféricas do setor industrial, fornecendo subsídios técnicos para o desenvolvimento de políticas públicas, a elaboração de planos de gestão da qualidade do ar e a tomada de decisão baseada em evidências.

O inventário contempla o período de 2017 a 2023 e apresenta estimativas de emissões para os poluentes Partículas Totais em Suspensão (PTS), Material Particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 10 μm (MP_{10}), Material Particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 2,5 μm ($\text{MP}_{2,5}$), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Óxidos de Enxofre (SO_x) e Compostos Orgânicos Voláteis Não Metânicos (COVNM), além de Carbono Negro (CN) e espécies químicas relevantes para a formação secundária de poluentes atmosféricos. O levantamento abrange mais de 9 mil empreendimentos industriais em 2017, alcançando mais de 11,5 mil em 2023, representando o conjunto mais abrangente de informações sobre emissões atmosféricas industriais disponíveis em escala nacional.

Além da quantificação das emissões, o inventário apresenta a classificação dos empreendimentos segundo suas taxas de emissão, permitindo a identificação de setores e poluentes relevantes para ações de gestão ambiental. Entre os poluentes avaliados, o CO apresentou o maior número de empreendimentos classificados como majoritários ao longo da série histórica, passando de 968 empreendimentos em 2017 para 1.171 em 2023. Em contrapartida, o SO_x apresentou o menor número de empreendimentos nessa categoria, com 404 empreendimentos em 2017 e 416 em 2023. De modo geral, observou-se aumento do número de empreendimentos categorizados como majoritários entre 2017 e 2023 para todos os poluentes.

4. Considerações finais

Como complemento ao relatório técnico, o inventário será disponibilizado em uma plataforma digital interativa, que permitirá a consulta, visualização, extração e análise customizada dos dados, oferecendo ferramentas para diferentes perfis de usuários. Essa plataforma ampliará o potencial de utilização das informações por órgãos ambientais, pesquisadores, setor produtivo e sociedade, além de subsidiar estudos de modelagem da qualidade do ar, avaliações de impacto, elaboração de inventários estaduais e municipais e desenvolvimento de Planos de Gestão da Qualidade do Ar e Controle de Emissões.

Considerando as dimensões territoriais e a diversidade do parque industrial brasileiro, este inventário foi concebido para atender às necessidades da gestão ambiental em âmbito nacional, adotando metodologia padronizada e consistente, assegurando assim a comparabilidade entre regiões, setores industriais e períodos de análise. Embora existam limitações inerentes à disponibilidade de dados, aos fatores de emissão e ao nível de detalhamento das informações, as estimativas apresentadas representam o melhor estado da arte possível com as bases de dados atualmente disponíveis, constituindo uma referência nacional para o diagnóstico das emissões atmosféricas de fontes fixas.

Este inventário representa o início da consolidação de um sistema nacional de inventários de emissões atmosféricas por fontes fixas. A metodologia, a infraestrutura de dados e as ferramentas desenvolvidas estabelecem uma base para o aprimoramento contínuo das estimativas, incentivando a elaboração de inventários estaduais e setoriais mais detalhados, a produção de fatores de emissão representativos da realidade brasileira e o fortalecimento da integração entre os diferentes entes federativos. Portanto, vislumbra-se um avanço significativo na implementação da Política Nacional de Qualidade do Ar, fortalecendo a capacidade técnica e institucional do país para o planejamento, monitoramento e controle das emissões atmosféricas industriais.

Como citar

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Fontes Fixas Industriais: 2026. Brasília, DF: MMA, 2026. ISBN 978-85-7738-621-5

Referências bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **SIGA – Sistema de Informações de Geração da ANEEL**. Brasília, DF: ANEEL, [s.d.]. Disponível em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/siga-sistema-de-informacoes-de-geracao-da-aneel>. Acesso em: 3 fev. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Processamento de petróleo e produção de derivados**. Brasília, DF: ANP, [s.d.]. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-estatisticos/de/arquivos-processamento-de-petroleo-e-producao-de-derivados/processamento-petroleo-m3.xls>. Acesso em: 3 fev. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE VIDRO (ABIVIDRO). **Empresas associadas**. [S. l.]: ABIVIDRO, [s.d.]. Disponível em: <https://abividro.org.br/associados/>. Acesso em: 3 fev. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO (ABIFA). **E-books ABIFA**. [S. l.]: ABIFA, [s.d.]. Disponível em: <https://abifa.org.br/site/ebooks/>. Acesso em: 6 fev. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GERADORAS TERMELÉTRICAS (ABRAGET). **Associadas**. Rio de Janeiro: ABRAGET, [s.d.]. Disponível em: <https://abraget.com.br/associadas/>. Acesso em: 3 fev. 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO (ABAL). **Associados**. São Paulo: ABAL, [s.d.]. Disponível em: <https://abal.org.br/a-abal/#associados>. Acesso em: 3 fev. 2026.

5. Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE DERIVADOS DO CALCÁRIO (APDC). **Empresas associadas**. Colombo, PR: APDC, [s.d.]. Disponível em: <https://appcal.com.br/apdc/empresas-associadas/>. Acesso em: 3 fev. 2026.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (ANFAVEA). **Associadas**. São Paulo: ANFAVEA, [s.d.]. Disponível em: <https://anfavea.com.br/site/associadas/>. Acesso em: 6 fev. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Processamento de petróleo e produção de derivados**. Brasília, DF: ANP, [s. d.]. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-estatisticos/de/arquivos-processamento-de-petroleo-e-producao-de-derivados/processamento-petroleo-m3.xls>. Acesso em: 3 fev. 2026.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). Resolução Conama nº 5, de 15 de junho de 1989. Institui o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (Pronar). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 ago. 1989.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). Resolução Conama nº 513, de 7 de abril de 2026. Reestrutura o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2026..

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). **Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais (CTF/APP)**. Brasília, DF: Ibama, [s.d.]. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/servicos/cadastros/ctf/ctf-app/ctf-app>. Acesso em: 6 jul. 2026.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). **Fontes energéticas**. Brasília, DF: Dados Abertos Ibama, [s.d.]. Disponível em: <https://dadosabertos.ibama.gov.br/dataset/fontes-energeticas>. Acesso em: 6 jul. 2026.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). Instrução Normativa nº 13, de 23 de agosto de 2021. Regulamenta a obrigação de inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais e revoga os atos normativos consolidados, em atendimento ao Decreto nº 10.139, de 28 de novembro de 2019. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 160, p. 77, 24 ago. 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-n-13-de-23-de-agosto-de-2021-340160720>. Acesso em: 6 jul. 2026.

5. Referências bibliográficas

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). **Pessoas jurídicas inscritas no CTF/APP**. Brasília, DF: Dados Abertos Ibama, [s.d.].c. Disponível em: <https://dadosabertos.ibama.gov.br/dataset/pessoas-juridicas-inscritas-no-ctf-app>. Acesso em: 6 jul. 2026.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). **Relatório Anual de Atividades Potencialmente Poluidoras (RAPP)**. Brasília, DF: Ibama, [s.d.].b. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/servicos/relatorios/atividades-poluidoras/rapp>. Acesso em: 6 jul. 2026.

BRASIL. Lei nº 14.850, de 2 de maio de 2024. Institui a Política Nacional de Qualidade do Ar. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 3 maio 2024.

CHARRONDIÈRE, U. Ruth; HAYTOWITZ, David; STADLMAYR, Barbara. **FAO/INFOODS density database version 2.0**. Rome: FAO, 2012. Disponível em: <https://www.fao.org/3/ap815e/ap815e.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2026.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Guia de melhor tecnologia prática disponível para o setor sucroenergético**. São Paulo: CETESB, [s. d.]. Disponível em: <https://www.cetesb.sp.gov.br/dx/api/dam/v1/collections/e5b76dda-7156-4581-825e-ab2b9fa44491/items/9b068070-0cf5-4834-aa76-2c4f372dc596/renditions/e709dedb-6425-49ed-b0d4-7c0c0880521a?binary=true>. Acesso em: 10 fev. 2026.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanço energético nacional 2025: relatório final**. Rio de Janeiro: EPE, 2025. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-885/topico-771/Relatório%20Final_BEN%202025.pdf. Acesso em: 3 fev. 2026.

EUROPEAN COMMISSION. Joint Research Centre. **Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board: Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control)**. Autores: Michael Suhr, Gabriele Klein, Ioanna Kourti, Miguel Rodrigo Gonzalo, Germán Giner Santonja, Serge Roudier, Luis Delgado Sancho. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2015. Disponível em: <https://bureau-industrial-transformation.jrc.ec.europa.eu/reference/production-pulp-paper-and-board>. Acesso em: 8 jul. 2026.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). **EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2023.

5. Referências bibliográficas

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório Anual 2025**. Brasília, DF: IBÁ, 2025. Disponível em: https://iba.org/wp-content/uploads/2025/10/IBA_relatorio_digital_POR.pdf. Acesso em: 6 fev. 2026.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Anuário estatístico 2023**. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2023. Disponível em: <https://www.acobrasil.org.br/site/noticia/anuario-estatistico-2023/>. Acesso em: 5 fev. 2026.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Anuário estatístico 2025**. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2025. Disponível em: https://www.acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2025/08/AcoBrasil_Anuario_2025.pdf. Acesso em: 3 fev. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Malha municipal: 2025**. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 6 jul. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **PRODLIST-Indústria: lista de produtos e serviços industriais 2025**. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: <https://concla.ibge.gov.br/images/concla/estrutura/Prodlist-Industria%202025.xlsx>. Acesso em: 6 jul. 2026.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2006 **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Volume 2: Energy. Chapter 2: Stationary Combustion. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf. Acesso em: 7 jul. 2026.

KENDALL, M. G. **Rank correlation methods**. 4. ed. London: Charles Griffin, 1975.

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**, [S. l.], v. 13, n. 3, p. 245–259, 1945.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (SNIC). **Relatório anual**. [S. l.]: SNIC, 2025. Disponível em: https://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/1763075552.pdf. Acesso em: 3 fev. 2026.

THEIL, H. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, I. **Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen**, [S. l.], v. 53, p. 386–392, 1950.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR E BIOENERGIA (UNICA). **Empresas associadas**. São Paulo: UNICA, [s.d.]. Disponível em: <https://unica.com.br/sobre-a-unica/associadas/>. Acesso em: 10 fev. 2026.

5. Referências bibliográficas

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **AP-42: Compilation of Air Pollutant Emission Factors – Chapter 1.8: Bagasse Combustion in Sugar Mills.** Washington, DC: EPA, 1996. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-09/documents/1.8_bagasse_combustion_in_sugar_mills.pdf. Acesso em: 10 fev. 2026.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Compilation of air pollutant emissions factors (AP-42).** 5. ed. Research Triangle Park, NC: EPA, 1995. Atualização contínua. Disponível em: <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>. Acesso em: 6 jul. 2026.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **40 CFR § 49.153: Federal Minor New Source Review Program in Indian Country.** Washington, DC: [S.n.], 2024a. Disponível em: <https://www.ecfr.gov/current/title-40/section-49.153>. Acesso em: 30 abr. 2026.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **40 CFR § 52.21: Prevention of significant deterioration of air quality.** Washington, DC: [S.n.], 2024b. Disponível em: <https://www.ecfr.gov/current/title-40/section-52.21>. Acesso em: 30 abr. 2026.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **SPECIATE:** EPA's repository of volatile organic gas and particulate matter speciation profiles of air pollution sources. Washington, DC: EPA, [s. d.]. Disponível em: <https://www.epa.gov/air-emissions-modeling/speciate>. Acesso em: 7 jul. 2026.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Who has to obtain a Title V Permit?** Washington, DC: USEPA, 2024b. Disponível em: <https://www.epa.gov/title-v-operating-permits/who-has-obtain-title-v-permit>. Acesso em: 30 abr. 2026.

VIDROPORTO S.A. **Garrafa 600 ml âmbar.** [S. l.]: Vidroporto, [s.d.]. Disponível em: <https://www.vidroporto.com.br/produto/398-garrafa-600ml-ambar>. Acesso em: 3 fev. 2026.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Lista de correspondência de atividades - CTF/APP e NFR

A **Tabela A1**, a seguir, apresenta a correspondência de atividades conforme a codificação presente no Anexo I da Instrução Normativa Ibama nº 13, de 23 de agosto de 2021, e suas alterações, e as respectivas categorias da *Nomenclature for Reporting* (NFR), sistema de classificação setorial utilizado para o reporte de emissões atmosféricas no âmbito da *Convention on Long-range Transboundary Air Pollution* (CLRTAP).

Tabela A1. Apêndice A - Lista de correspondência de atividades do CTF/APP e a respectiva codificação NFR.

Código CTF/APP	Atividade	NFR	Descrição
17-1	Produção de energia termoeletrica	1.A.1.a	Produção pública de eletricidade e calor
15-2	Fabricação de produtos derivados do processamento de petróleo, de rochas betuminosas e da madeira	1.A.1.b	Refino de petróleo
15-1	Produção de substâncias e fabricação de produtos químicos	1.A.2.c	Combustão na indústria química
3-1	Fabricação de aço e de produtos siderúrgicos	1.A.2.a	Combustão na indústria de metais ferrosos
3-2	Produção de fundidos de ferro e aço, forjados, arames, relaminados com ou sem tratamento de superfície, inclusive galvanoplastia		
3-11	Têmpera e cementação de aço, recozimento de arames, tratamento de superfície		
3-3	Metalurgia dos metais não-ferrosos, em formas primárias e secundárias, inclusive ouro	1.A.2.b	Combustão na indústria de metais não-ferrosos
3-4	Produção de laminados, ligas, artefatos de metais não-ferrosos com ou sem tratamento de superfície, inclusive galvanoplastia		
3-5	Relaminação de metais não-ferrosos, inclusive ligas		
3-6	Produção de soldas e anodos		
3-7	Metalurgia de metais preciosos		
3-8	Metalurgia do pó, inclusive peças moldadas		
3-12	Metalurgia de metais preciosos – Decreto nº 97.634/1989 - Utilização de mercúrio metálico		

6. Apêndices

Código CTF/APP	Atividade	NFR	Descrição
15-3	Fabricação de combustíveis não derivados de petróleo	1.A.2.c	Combustão na indústria química
15-4	Produção de óleos, gorduras, ceras, vegetais e animais, óleos essenciais, vegetais e produtos similares, da destilação da madeira		
15-5	Fabricação de resinas e de fibras e fios artificiais e sintéticos e de borracha e látex sintéticos		
15-6	Fabricação de pólvora, explosivos, detonantes, munição para caça e desporto, fósforo de segurança e artigos pirotécnicos		
15-7	Recuperação e refino de solventes, óleos minerais, vegetais e animais		
15-8	Fabricação de concentrados aromáticos naturais, artificiais e sintéticos		
15-9	Fabricação de preparados para limpeza e polimento, desinfetantes, inseticidas, germicidas e fungicidas		
15-10	Fabricação de tintas, esmaltes, lacas, vernizes, impermeabilizantes, solventes e secantes		
15-11	Fabricação de fertilizantes e agroquímicos		
15-12	Fabricação de produtos farmacêuticos e veterinários		
15-13	Fabricação de sabões, detergentes e velas		
15-14	Fabricação de perfumarias e cosméticos		
15-15	Produção de álcool etílico, metanol e similares		
15-17	Produção de substâncias e fabricação de produtos químicos (preservativos de madeira)		
15-20	Produção de substâncias e fabricação de produtos químicos (utilização de mercúrio metálico)	1.A.2.d	Combustão na indústria de celulose, papel e gráfica
15-21	Produção de substâncias e fabricação de produtos químicos (remediador / dispersante químico)		
15-23	Fabricação de produtos derivados do processamento de petróleo, de rochas betuminosas e da madeira (rerrefino de óleo lubrificante usado ou contaminado)		
8-1	Fabricação de celulose e pasta mecânica	1.A.2.d	Combustão na indústria de celulose, papel e gráfica
8-2	Fabricação de papel e papelão		
8-3	Fabricação de artefatos de papel, papelão, cartolina, cartão e fibra prensada		
13-1	Fabricação de cigarros, charutos, cigarilhas e outras atividades de beneficiamento do fumo	1.A.2.e	Combustão na indústria de alimentos, bebidas e tabaco
16-1	Beneficiamento, moagem, torrefação e fabricação de produtos alimentares		
16-2	Matadouros, abatedouros, frigoríficos, charqueadas e derivados de origem animal		
16-3	Fabricação de conservas		
16-4	Preparação de pescados e fabricação de conservas de pescados		
16-5	Beneficiamento e industrialização de leite e derivados		
16-6	Fabricação e refinação de açúcar		
16-7	Refino e preparação de óleo e gorduras vegetais		
16-8	Produção de manteiga, cacau, gorduras de origem animal para alimentação		
16-9	Fabricação de fermentos e leveduras		
16-10	Fabricação de rações balanceadas e de alimentos preparados para animais		
16-11	Fabricação de vinhos e vinagre		
16-12	Fabricação de cervejas, chopes e maltes		
16-13	Fabricação de bebidas não-alcoólicas, bem como engarrafamento e gaseificação e águas minerais		
16-14	Fabricação de bebidas alcoólicas		
16-15	Matadouros, abatedouros, frigoríficos, charqueadas e derivados de origem animal (fauna silvestre / fauna exótica)		

6. Apêndices

Código CTF/APP	Atividade	NFR	Descrição
2-1	Beneficiamento de minerais não metálicos, não associados à extração	1.A.2.f	Combustão na indústria de minerais não-metálicos
2-2	Fabricação e elaboração de produtos minerais não metálicos tais como produção de material cerâmico, cimento, gesso, amianto, vidro e similares		
3-9	Fabricação de estruturas metálicas com ou sem tratamento de superfície, inclusive galvanoplastia	1.A.2.g	Combustão na indústria - outras atividades
3-10	Fabricação de artefatos de ferro, aço e de metais não-ferrosos com ou sem tratamento de superfície, inclusive galvanoplastia		
4-1	Fabricação de máquinas, aparelhos, peças, utensílios e acessórios com e sem tratamento térmico ou de superfície		
5-1	Fabricação de pilhas, baterias e outros acumuladores		
5-2	Fabricação de material elétrico, eletrônico e equipamentos para telecomunicação e informática		
5-3	Fabricação de aparelhos elétricos e eletrodomésticos		
5-4	Fabricação de material elétrico, eletrônico e equipamentos para telecomunicação e informática - Lei nº 12.305/2010: art. 33, V - Lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista		
6-1	Fabricação e montagem de veículos rodoviários e ferroviários, peças e acessórios		
6-2	Fabricação e montagem de aeronaves		
6-3	Fabricação e reparo de embarcações e estruturas flutuantes		
7-1	Serraria e desdobramento de madeira		
7-2	Preservação de madeira		
7-3	Fabricação de chapas, placas de madeira aglomerada, prensada e compensada		
7-4	Fabricação de estruturas de madeira e móveis		
9-1	Beneficiamento de borracha natural		
9-3	Fabricação de laminados e fios de borracha		
9-4	Fabricação de espuma de borracha e de artefatos de espuma de borracha, inclusive látex		
9-5	Fabricação de câmara de ar		
9-6	Fabricação de pneumáticos		
9-7	Recondicionamento de pneumáticos		
10-1	Secagem e salga de couros e peles		
10-2	Curtimento e outras preparações de couros e peles		
10-3	Fabricação de artefatos diversos de couros e peles		
10-4	Fabricação de cola animal		
11-1	Beneficiamento de fibras têxteis, vegetais, de origem animal e sintéticos		
11-2	Fabricação e acabamento de fios e tecidos		
11-3	Tingimento, estamparia e outros acabamentos em peças do vestuário e artigos diversos de tecidos		
11-4	Fabricação de calçados e componentes para calçados		
12-1	Fabricação de laminados plásticos		
12-2	Fabricação de artefatos de material plástico		
14-1	Usinas de produção de concreto		
14-2	Usinas de produção de asfalto		

Fonte: elaborado pelos autores.

APÊNDICE B

Parâmetros de estimativa de emissões - Produção pública de eletricidade e calor (NFR 1.A.1.a)

Dados de atividade e fontes de dados

Para o setor de produção pública de eletricidade e calor (NFR 1.A.1.a), as taxas de atividade foram obtidas a partir dos dados de consumo energético declarados no formulário "Fontes Energéticas" do RAPP, considerando os empreendimentos classificados sob o código 17-1, correspondente à atividade de produção de energia termelétrica.

De forma complementar, foi realizada a verificação cruzada com a base de dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)¹, a partir do levantamento das usinas termelétricas classificadas nas categorias de geração pública e geração independente de energia. Os empreendimentos identificados na base da ANEEL que não apresentaram correspondência direta com os registros do RAPP no código 17-1 foram buscados em outras classificações de atividade dentro do próprio RAPP, a fim de identificar possíveis inconsistências de enquadramento.

Nos casos em que a correspondência não foi estabelecida, procedeu-se à obtenção de informações por meio de dados individuais de licenciamento ambiental, quando disponíveis. Adicionalmente, foi realizada verificação cruzada com a relação de empresas associadas à Associação Brasileira de Geradoras Termelétricas (ABRAGET)² sendo atingida a totalidade das usinas termelétricas associadas inventariadas.

Fatores de emissão utilizados

Os fatores de emissão utilizados foram integralmente os fornecidos pelo EMEP/EEA *Guidebook*, considerando as diferentes tecnologias de combustão e tipos de combustível utilizados nas usinas termelétricas, conforme **Tabela B1**.

¹ AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). SIGA – Sistema de Informações de Geração da ANEEL. Brasília, DF: ANEEL, [s.d.]. Disponível em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/siga-sistema-de-informacoes-de-geracao-da-aneel>. Acesso em: 3 fev. 2026.

² ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GERADORAS TERMELÉTRICAS (ABRAGET). Associadas. Rio de Janeiro: ABRAGET, [s.d.]. Disponível em: <https://abraget.com.br/associadas/>. Acesso em: 3 fev. 2026.

6. Apêndices

A seleção dos fatores de emissão levou em conta a tecnologia (como caldeiras, turbinas a gás e motores estacionários) e o combustível utilizado (carvão, óleo combustível, óleo diesel, gás natural e biomassa), conforme as categorias estabelecidas no *Guidebook*. A unidade de medida tem como referência a emissão de poluente, em quilogramas, por unidade de energia consumida (kg/TJ).

Tabela B1. Apêndice B - Fatores de emissão utilizados para Produção Pública de Eletricidade e Calor.

Tecnologia	Combustível	Poluente	Fator de emissão	Unidade
Turbina a gás	Combustível gasoso	PTS	0,2	kg/TJ
		MP ₁₀	0,2	
		SO _x	0,244	
		CH ₄	1	
		COVNM	1,6	
		CO	4,8	
		NO _x	48	
		MP _{2,5}	0,2	
Grandes motores estacionários alternativos de ignição por compressão	Óleo combustível	PCB	1,3x10 ⁻¹⁰	kg I-TEQ/TJ
		PCDD/F	9,9x10 ⁻¹⁰	kg/TJ
		CN	16,926	
		HCB	2,2x10 ⁻⁷	
		Benzo(b)fluoranteno	0,000502	
		Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,000187	
		Benzo(k)fluoranteno	9,87x10 ⁻⁵	
		Benzo(a)pireno	0,000116	
		CO	130	
		MP _{2,5}	21,7	
		PTS	28,1	
		CH ₄	3	
		COVNM	37,1	
		MP ₁₀	22,4	
		NO _x	942	
		SO _x	46,5	

6. Apêndices

Tecnologia	Combustível	Poluente	Fator de emissão	Unidade
Motor alternativo estacionário a gás	Gás natural	PCDD/F	5,7x10 ⁻¹⁰	kg I-TEQ/TJ
		Cd	0,000003	
		Pb	0,00004	
		Cr	0,00005	
		Hg	0,0001	
		As	0,00005	
		Zn	0,00291	
		Se	0,0002	
		Ni	0,00005	
		Cu	0,00001	
		NO _x	135	kg/TJ
		MP _{2,5}	2	
		MP ₁₀	2	
		PTS	2	
		SO _x	0,281	
		CO	56	
		CH ₄	1	
		COVNM	89	
		Benzo(k)fluoranteno	1,70x10 ⁻⁶	
		Indeno(1,2,3-cd)pireno	1,80x10 ⁻⁶	
Turbina a gás	Óleo combustível	Benzo(b)fluoranteno	0,000009	kg/TJ
		Benzo(a)pireno	1,2x10 ⁻⁶	
		CN	0,05	
		MP _{2,5}	1,95	
		MP ₁₀	1,95	
		PTS	1,95	
		SO _x	46,5	
		CH ₄	3	
		COVNM	0,19	
		CO	1,49	
		NO _x	398	
		CN	0,65325	
		Pb	6,9x10 ⁻⁶	
		Cd	1,2x10 ⁻⁶	
		Zn	0,00044	
		Se	2,30x10 ⁻⁶	
		Ni	2,3x10 ⁻⁶	
		Cu	0,00017	
		As	2,3x10 ⁻⁶	
		Cr	0,00028	
		Hg	0,000053	

6. Apêndices

Tecnologia	Combustível	Poluente	Fator de emissão	Unidade
Sem especificação	Óleo combustível	CN	0,268	kg/TJ
		Indeno(1,2,3-cd)pireno	6,92x10 ⁻⁶	
		CH ₄	3	
		COVNM	0,8	
		MP _{2,5}	0,8	
		MP ₁₀	3,2	
		SO _x	46,5	
		CO	16,2	
		NO _x	65	
		PTS	6,5	
		Hg	0,00136	
		Cd	0,00136	
		Pb	0,00407	
		Cr	0,00136	
		Cu	0,00272	
		As	0,00181	
		Zn	0,00181	
		Se	0,00679	
		Ni	0,00136	
		PCDD/F	5x10 ⁻¹⁰	kg I-TEQ/TJ
Caldeiras de fundo seco	Carvão coqueificável, carvão vapor e carvão sub-betuminoso	NO _x	209	kg/TJ
		MP _{2,5}	3,4	
		MP ₁₀	7,7	
		PTS	11,4	
		SO _x	820	
		CH ₄	1	
		COVNM	1	
		CO	8,7	
Caldeiras de leito fluidizado	Carvão mineral	CO	313	kg/TJ
		CN	0,1144	
		MP _{2,5}	5,2	
		MP ₁₀	7,7	
		PTS	8,4	
		CH ₄	1	
		COVNM	0,9	
		NO _x	82,5	
Caldeiras de fundo úmido e seco	Carvão marrom	SO _x	820	kg/TJ
		CO	8,7	
		MP _{2,5}	3,2	
		MP ₁₀	7,9	
		PTS	11,7	
		CH ₄	1	
		COVNM	1,4	
		NO _x	247	
		SO _x	1680	

Fonte: Adaptado de EEA (2023).

Nota: kg I-TEQ/TJ = quilograma de Equivalente Tóxico Internacional por Terajoule.

Tratamentos e premissas adotadas

Não foram necessárias conversões de unidade para as taxas de atividade, uma vez que os fatores de emissão adotados são expressos em função da energia consumida.

A identificação das unidades foi realizada com base na integração entre as bases do RAPP e da ANEEL, assumindo-se que a combinação dessas fontes permite representar adequadamente o parque termelétrico nacional.

APÊNDICE C

Parâmetros de estimativa de emissões - Refino de petróleo (NFR 1.A.1.b) e suas emissões fugitivas (NFR 1.B.2.a.iv)

Dados de atividade e fontes de dados

Para o setor de refino de petróleo, as taxas de atividade foram obtidas a partir de dados oficiais divulgados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), que disponibiliza informações consolidadas sobre o volume de petróleo processado nas refinarias autorizadas no Brasil em portal de dados abertos³. A base contempla as 17 refinarias em operação no território nacional, sendo considerada representativa do universo do setor.

Na consulta realizada às empresas, foram obtidos dados de medições de emissões de 10 refinarias, os quais foram incorporados como estimativas de maior nível metodológico (*Tier 3*). Os dados CTF/APP foram utilizados de forma auxiliar, exclusivamente para verificação da localização geográfica das refinarias.

Fatores de emissão utilizados

Para as sete refinarias não contempladas pelos dados primários obtidos junto à indústria, as emissões foram estimadas com base em fatores de emissão de nível *Tier 1* para a combustão no refino de petróleo, conforme a tabela 4-2 do capítulo 1.A, e para as emissões fugitivas, conforme a tabela 3-1 do capítulo 1.B.2.a.iv, ambos do EMEP/EEA *Guidebook*, apresentados nas **Tabelas C1** e **C2**, respectivamente. Os fatores de emissão são expressos em quilogramas de poluente por tonelada de óleo cru processado.

³ AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Processamento de petróleo e produção de derivados. Brasília, DF: ANP, [s.d.]. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-contenido/dados-estatisticos/de/arquivos-processamento-de-petroleo-e-producao-de-derivados/processamento-petroleo-m3.xls>. Acesso em: 3 fev. 2026.

6. Apêndices

Tabela C1. Apêndice C - Fatores de emissão utilizados para Refino de Petróleo (NFR 1.A.1.b).

Poluente	Fator de emissão	Unidade
Zn	0,0000508	kg/t de óleo cru processado
Benzo(b)fluoranteno	$3,6 \times 10^{-9}$	
As	0,0000026	
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,000000001	
Benzo(a)pireno	$1,1 \times 10^{-9}$	
Benzo(k)fluoranteno	0,000000001	
Cd	0,0000041	
CO	0,0545	
Cr	0,0000178	
Cu	0,000011	
Hg	0,0000008	
CN	0,0008	
NH ₃	0,0008	
Pb	0,0000049	
NO _x	0,2218	
MP ₁₀	0,0088	
MP _{2,5}	0,0059	
Se	0,0000038	
SO _x	0,375	
PTS	0,0113	
Ni	0,0003796	
PCDD/F	$1,2 \times 10^{-12}$	kg I-TEQ/t de óleo cru processado

Fonte: Adaptado de EEA (2023).

Tabela C2. Apêndice C - Fatores de emissão utilizados para Emissões Fugitivas no Refino de Petróleo (NFR 1.B.2.a.iv).

Poluente	Fator de emissão	Unidade
SO _x	0,245	kg/t de óleo cru processado
Cd	0,0000005	
Hg	0,0000006	
Cr	0,0000001	
Ni	0,0000053	
Se	0,0000001	
Pb	0,000003	
As	0,0000001	
CO	0,041	
MP ₁₀	0,005	
NO _x	0,035	
COVNM	0,2	
Zn	0,000001	
Cu	0,0000012	
MP _{2.5}	0,002	
PTS	0,006	
PCDD/F	1,210 ⁻¹²	kg I-TEQ/t de óleo cru processado

Fonte: Adaptado de EEA (2023).

Tratamentos e premissas adotadas

Como os dados de atividade disponibilizados pela ANP são expressos em volume de petróleo processado (m³), foi necessária a conversão para massa. Para isso, adotou-se densidade média do petróleo de 0,884 t/m³, conforme dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE)⁴.

⁴ EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço energético nacional 2025: relatório final. Rio de Janeiro: EPE, 2025. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-885/topico-771/Relatório%20Final_BEN%202025.pdf. Acesso em: 3 fev. 2026.

APÊNDICE D

Parâmetros de estimativa de emissões - Fabricação de combustíveis sólidos (NFR 1.A.1.c)

Dados de atividade e fontes de dados

Para o setor de fabricação de combustíveis sólidos, foram consideradas as atividades de produção de coque. A identificação das coquerias e os respectivos dados de produção foram obtidos a partir do Anuário Estatístico do Instituto Aço Brasil⁵, que consolida informações sobre a produção siderúrgica nacional, incluindo unidades integradas com produção de coque.

De forma complementar, visando a inclusão de coquerias de menor porte e unidades não integradas, foi realizada consulta ao banco estruturado de emissões baseado em produtos, utilizando-se o código ProdList 1910.2020 do IBGE, correspondente à produção de coque e semicoque de hulha, linhita ou turfa. Essa etapa permitiu ampliar a cobertura do setor, incorporando unidades não capturadas nas estatísticas consolidadas da indústria siderúrgica. Os dados do CTF/APP foram utilizados para identificação pontual das unidades produtivas.

Fatores de emissão utilizados

Foram adotados os fatores de emissão *Tier 2* das tabelas 5-2 e 5-3 do capítulo setorial 1.A do EMEP/EEA *Guidebook*, conforme a **Tabela D1** a seguir. A unidade de medida tem como referência a emissão de poluente, em quilogramas, por tonelada de coque produzido.

⁵ INSTITUTO AÇO BRASIL. Anuário estatístico 2025. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2025. Disponível em: https://www.acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2025/08/AcoBrasil_Anuario_2025-1.pdf. Acesso em: 3 fev. 2026.

Tabela D1. Apêndice D - Fatores de emissão utilizados para Fabricação de Combustíveis Sólidos.

Tecnologia	Poluente	Fator de emissão	Unidade
Com recuperação de subprodutos	CN	0,56448	kg/t de coque
	CO	0,34	
	SO _x	0,42	
	CH ₄	1,0	
	COVNM	0,047	
	MP _{2,5}	1,176	
	PTS	1,914	
	MP ₁₀	1,864	
	NO _x	0,82	
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	2x10 ⁻⁸	
	Cu	1,7x10 ⁻⁶	
	Benzo(k)fluoranteno	3x10 ⁻⁸	
	Benzo(a)pireno	8,2 x10 ⁻⁶	
	Zn	7,6E ⁻⁶	
	Se	1,8E ⁻⁶	
	Ni	9x10 ⁻⁷	
	Benzo(b)fluoranteno	1x10 ⁻⁷	
	Cr	3,6x10 ⁻⁶	
	As	1,6x10 ⁻⁶	
	Pb	2,2x10 ⁻⁶	
	Cd	1x10 ⁻⁷	
	PCDD/F	7,38x10 ⁻¹⁰	kg I-TEQ/t de coque
Sem recuperação de subprodutos	CN	0,91824	kg/t de coque
	SO _x	4,7	
	CO	0,025	
	NO _x	0,36	
	PTS	2,7	
	MP ₁₀	2,618	
	MP _{2,5}	1,913	
	Ni	0,00029	
	Pb	0,0016	
	Cd	0,00009	
	Hg	0,0017	
	As	0,00063	
	Cu	0,0014	
	Se	0,00016	
	Zn	0,0026	
	Benzo(a)pireno	5x10 ⁻⁷	
	Cr	0,00032	
	PCDD/F	7,38x10 ⁻¹⁰	kg I-TEQ/t de coque

Fonte: adaptado de EEA (2023).

Nota: kg I-TEQ/t de coque = quilograma de Equivalente Tóxico Internacional por tonelada de coque produzido.

APÊNDICE E

Parâmetros de estimativa de emissões - Combustão na indústria (NFR 1.A.2.a, 1.A.2.b, 1.A.2.c, 1.A.2.d, 1.A.2.e, 1.A.2.f, 1.A.2.g)

Dados de atividade e fontes de dados

As estimativas de emissões por combustão industrial foram baseadas, prioritariamente, nas informações de consumo de combustíveis declaradas pelos empreendimentos no formulário Fontes Energéticas do RAPP. Esse formulário disponibiliza, para cada unidade industrial, os combustíveis utilizados e as respectivas quantidades consumidas, permitindo a aplicação direta de fatores de emissão baseados em consumo energético.

Para os setores Combustão na indústria de metais ferrosos (cuja produção se enquadra em NFR 2.C.1, 2.C.2 e 2.C.7.c), Combustão na indústria de metais não ferrosos (cuja produção se enquadra em NFR 2.C.3 a 2.C.7.a) e Combustão na indústria de minerais não metálicos (cuja produção se enquadra em NFR 2.A.1, 2.A.2 e 2.A.3), quando os empreendimentos puderam ser diretamente associados às respectivas categorias produtivas por meio das informações de produção declaradas no RAPP, foram adotadas as metodologias específicas previstas no EMEP/EEA *Guidebook*, baseadas em fatores de emissão expressos em função da produção. Nesses casos, as taxas de atividade foram obtidas a partir da base estruturada de emissões baseada em produção, utilizando os códigos ProdList correspondentes a cada segmento industrial.

Para as demais atividades industriais abrangidas pelo setor 1.A.2 - Combustão na indústria, as estimativas foram realizadas com base no consumo de combustíveis informado no formulário Fontes Energéticas do RAPP, aplicando-se os fatores de emissão específicos para cada combustível e tecnologia de combustão, conforme metodologia descrita na seção de fatores de emissão.

Fatores de emissão utilizados

Para as atividades não contempladas por fatores de emissão específicos, foram adotados os fatores de emissão *Tier 1* do EMEP/EEA *Guidebook* para a combustão em processos industriais, apresentados no Capítulo 1.A.2 – *Manufacturing Industries and Construction (combustion)*. Os fatores de emissão foram selecionados de acordo com o combustível utilizado em cada empreendimento, considerando as Tabelas 3-2, 3-3, 3-4 e 3-5, correspondentes, respectivamente, aos combustíveis sólidos, combustíveis gasosos, combustíveis líquidos e biomassa. A **Tabela E1** apresenta os fatores de emissão e respectivas unidades para este setor.

Tabela E1. Apêndice E - Fatores de emissão utilizados na combustão de biomassa na indústria.

Combustível	Poluente	Fator de emissão	Unidade
Biomassa	NO _x	91,0	kg/TJ
	CO	570,0	
	CH ₄	11,0	
	COVNM	300,0	
	SO _x	38,4	
	PTS	150,0	
	MP ₁₀	143,0	
	MP _{2,5}	140,0	
	Pb	0,027	
	Hg	0,00056	
	As	0,00019	
	Cd	0,013	
	Cr	0,023	
	Cu	0,006	
	CN	39,2	
	NH ₃	37,0	
	HCB	0,000005	
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	1,5	
	Benzo(k)fluoranteno	0,005	
	Benzo(b)fluoranteno	0,016	
	Benzo(a)pireno	0,01	
	PCB	0,00006	
	Zn	0,512	
	Se	0,0005	
	Ni	0,002	
	PCDD/F	0,0000001	kg I-TEQ/TJ

Fonte: Adaptado de EEA (2023).

6. Apêndices

Os fatores de emissão são expressos em massa de poluente por unidade de energia do combustível consumido (kg/TJ), sendo posteriormente combinados às respectivas taxas de atividade para a estimativa das emissões atmosféricas.

A **Tabela E2**, a seguir, apresenta os fatores de emissão para a combustão de combustíveis gasosos.

Tabela E2. Apêndice E - Fatores de emissão utilizados na combustão de combustíveis gasosos na indústria.

Combustível	Poluente	Fator de emissão	Unidade
Combustíveis gasosos	CH ₄	4,0	kg/TJ
	Cd	0,0000009	
	As	0,0001	
	Hg	0,00054	
	CN	0,0312	
	Zn	0,00073	
	Se	0,000058	
	Ni	0,000013	
	Cr	0,000013	
	MP _{2,5}	0,78	
	MP ₁₀	0,78	
	PTS	0,78	
	SO _x	0,67	
	COVNM	23,0	
	CO	29,0	
	NO _x	74,0	
	Cu	0,0000026	

Fonte: Adaptado de EEA (2023).

Na **Tabela E3** a seguir, apresentam-se os fatores de emissão para a combustão de combustíveis líquidos.

Tabela E3. Apêndice E - Fatores de emissão utilizados na combustão de combustíveis líquidos na indústria.

Combustível	Poluente	Fator de emissão	Unidade
Combustíveis líquidos	CH ₄	0,9	kg/TJ
	Ni	0,000008	
	CN	11,2	
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,0000022	
	Benzo(k)fluoranteno	0,0000017	
	Benzo(b)fluoranteno	0,000015	
	Benzo(a)pireno	0,0000019	
	Zn	0,029	
	Cu	0,00022	
	Cr	0,0002	
	As	0,00003	
	Hg	0,00012	
	Cd	0,000006	
	MP _{2,5}	20,0	
	MP ₁₀	20,0	
	PTS	20,0	
	SO _x	47,0	
	COVNM	25,0	
	CO	66,0	
	NO _x	513,0	
	Pb	0,00008	
	PCDD/F	1,4x10 ⁻⁹	kg I-TEQ/TJ

Fonte: Adaptado de EEA (2023).

Para a combustão de combustíveis sólidos, foram utilizados os fatores de emissão apresentados na **Tabela E4** a seguir.

Tabela E4. Apêndice E - Fatores de emissão utilizados na combustão de combustíveis sólidos na indústria.

Combustível	Poluente	Fator de emissão	Unidade
Combustíveis sólidos	CH ₄	1,0	kg/TJ
	PTS	124,0	
	PCB	0,00017	
	Zn	0,2	
	Se	0,0018	
	Ni	0,013	
	Cu	0,0175	
	Cr	0,0135	
	As	0,004	
	Hg	0,0079	
	Cd	0,0018	
	Pb	0,134	
	Benzo(a)pireno	0,0455	
	MP ₁₀	117,0	
	Benzo(b)fluoranteno	0,0589	
	SO _x	900,0	
	COVNM	88,8	
	CO	931,0	
	NO _x	173,0	
	MP _{2,5}	108,0	
	CN	6,912	
	HCB	0,00000062	
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,0185	
	Benzo(k)fluoranteno	0,0237	
	PCDD/F	0,000000203	kg I-TEQ/TJ

Fonte: Adaptado de EEA (2023).

Para as emissões de CH₄, foram adotados os fatores de emissão das *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, uma vez que o EMEP/EEA *Guidebook* não disponibiliza fatores de emissão para esse poluente em todas as categorias de combustão industrial consideradas neste inventário. Os fatores do IPCC foram aplicados de forma complementar, garantindo a estimativa das emissões de metano para todas as atividades avaliadas.

Para a combustão na Fabricação de Ferro e Aço, foram utilizados fatores de emissão *Tier 2* específicos disponibilizados pelas tabelas 3-7 e 3-8 no EMEP/EEA *Guidebook*, conforme compilado na **Tabela E5**.

6. Apêndices

Tabela E5. Apêndice E - Fatores de emissão utilizados na combustão na Fabricação de ferro e aço (NFR 2.C.1).

Tecnologia	Combustível	Poluente	Fator de emissão	Unidade
Alto forno	Coque, gás de alto-forno, gás de coqueria, gás natural, óleo combustível e gás de conversor LD (BOF)	CO	0,027	kg/t de ferro-gusa
		SO _x	0,038	
		NO _x	0,008	
Sinterização	Gás de alto forno e gás de coqueria	CO	18	kg/t de sinter
		NO _x	0,558	
		SO _x	0,463	

Fonte: Adaptado de EEA (2023).

Para a combustão na Fabricação de metais não-ferrosos, foram utilizados fatores de emissão *Tier 2* específicos disponibilizados pelas tabelas 3-15 a 3-22 no EMEP/EEA *Guidebook*, conforme **Tabela E6** abaixo.

Tabela E6. Apêndice E - Fatores de emissão utilizados na combustão na Fabricação de metais não-ferrosos.

Tecnologia	Combustível	Poluente	Fator de emissão	Unidade
Produção secundária de chumbo	Óleo combustível e gás natural	NO _x	0,186	kg/t
		SO _x	2,2	
Produção primária de zinco	Coque, gás natural e óleo combustível	SO _x	5,29	kg/t
Produção secundária de alumínio	Óleo combustível e gás natural	SO _x	0,413	kg/t
		SO _x	0,285	
Produção de alumina	Óleo combustível e gás natural	NO _x	0,945	kg/t
		CO	0,135	
		SO _x	0,637	
Produção primária de cobre	Carvão, gás natural e óleo combustível	NO _x	7,06	kg/t
		SO _x	10,3	

Fonte: Adaptado de EEA (2023).

Por fim, para as atividades de combustão na indústria de minerais não metálicos, foram adotados os fatores de emissão *Tier 2* apresentados nas Tabelas 3-24, 3-25 e 3-27, correspondentes, respectivamente, à combustão na fabricação de cal, cimento e vidro (**Tabela E7**).

Tabela E7. Apêndice E - Fatores de emissão utilizados na combustão na Indústria de minerais não-metálicos.

Tecnologia	Combustível	Poluente	Fator de emissão	Unidade
Fabricação de vidro	Gás natural/óleo combustível	NO _x	2,93	kg/t de vidro
		CO	0,00613	
		SO _x	1,96	
Fabricação de cal	Carvão/gás natural/óleo combustível	NO _x	1,369	kg/t de cal
		CO	1,94	
		CH ₄	1,1	
Fabricação de cimento	Carvão/coque de petróleo/gás natural/óleo combustível/combustível derivado de resíduos	SO _x	0,316	kg/t de clínquer
		NO _x	1,241	
		CO	1,455	
		COVNM	0,018	
		SO _x	0,374	
		Pb	0,000098	
		Cd	0,000008	
		Hg	0,000049	
		As	0,0000265	
		Cr	0,000041	
		Cu	0,0000647	
		Ni	0,000049	
		Se	0,0000253	
		Zn	0,000424	
		PCB	0,000000103	
		Benzo(a)pireno	0,000000065	
		Benzo(b)fluoranteno	0,000000028	
		Benzo(k)fluoranteno	0,000000077	
		Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,000000043	
		HCB	4,6x10 ⁻⁹	
		CH ₄	1,1	
		PCDD/F	4,1x10 ⁻¹²	kg I-TEQ/t de clínquer

Fonte: Adaptado de EEA (2023).

Tratamentos e premissas adotadas

Não foram necessárias conversões de unidade para as taxas de atividade, uma vez que os fatores de emissão adotados são expressos em função da energia consumida.

Para evitar dupla contagem das emissões associadas ao consumo de bagaço-de-cana, foram excluídos casos em que o mesmo consumo energético era reportado simultaneamente por unidades industriais e por empreendimentos de geração de energia vinculados, considerando-se apenas um registro por instalação.

APÊNDICE F

Parâmetros de estimativa de emissões - Combustão na indústria sucroalcooleira (NFR 1.A.2.e.i)

Dados de atividade e fontes consultadas

Dada a relevância do setor sucroalcooleiro no Brasil, desmembrou-se o setor de combustão na indústria de alimentos, bebidas e tabaco (NFR 1.A.2.e) para um nível específico à indústria sucroalcooleira (o qual nominou-se NFR 1.A.2.e.i), que contempla usinas de produção de açúcar, álcool e demais derivados.

As taxas de atividade foram obtidas a partir da base estruturada de emissões baseada em consumo energético, considerando os registros associados às atividades de produção de açúcar, etanol e geração termelétrica com uso de bagaço-de-cana como combustível.

Como verificação complementar, foram consultadas as associadas à União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia (UNICA)⁶, bem como os dados do Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA), com o objetivo de identificar unidades com geração de energia a partir do bagaço de maneira complementar aos dados do RAPP.

Fatores de emissão utilizados

O EMEP/EEA Guidebook disponibiliza fatores de emissão genéricos para a queima de biomassa. Contudo, considerando a importância da indústria sucroenergética no contexto nacional, optou-se por utilizar fatores de emissão mais representativos das condições tecnológicas predominantes no país. Segundo o Guia de Melhor Tecnologia Prática Disponível da CETESB⁷, a maior parte das usinas localizadas no estado de São Paulo, principal produtor nacional, utiliza separadores mecânicos associados

⁶ UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR E BIOENERGIA (UNICA). Empresas associadas. São Paulo: UNICA, [s.d.]. Disponível em: <https://unica.com.br/sobre-a-unica/associadas/>. Acesso em: 10 fev. 2026.

⁷ COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Guia de melhor tecnologia prática disponível para o setor sucroenergético. São Paulo: CETESB, [s.d.]. Disponível em: <https://www.cetesb.sp.gov.br/dx/api/dam/v1/collections/e5b76dda-7156-4581-825e-ab2b9fa44491/items/9b068070-0cf5-4834-aa76-2c4f372dc596/renditions/e709dedb-6425-49ed-b0d4-7c0c0880521a?binary=true>. Acesso em: 10 fev. 2026.

6. Apêndices

a lavadores de gases como sistema de controle de emissões atmosféricas. Assim, a aplicação direta dos fatores genéricos do EMEP/EEA *Guidebook* poderia superestimar as emissões do setor.

Como alternativa, foram adotados os fatores de emissão da AP-42 (EPA) para material particulado total (PTS), MP_{10} e NO_x , específicos para a combustão de bagaço em usinas sucroalcooleiras⁸. Os fatores de emissão, originalmente expressos em unidades de lb/ton de bagaço-de-cana, foram convertidos para kg/TJ de energia, considerando o poder calorífico inferior do bagaço de cana-de-açúcar (0,00892 TJ/t), de forma a compatibilizá-los com o sistema de unidades adotado neste inventário.

Para $MP_{2,5}$, foi adotada a fração de 93% do material particulado total, conforme recomendação do guia europeu. Para os demais poluentes, foram utilizados os fatores de emissão da tabela 3-5 do capítulo 1.A.2 do EMEP/EEA *Guidebook*. A unidade de medida tem como referência a emissão de poluente, em quilos, por terajoule de energia. A compilação de fatores de emissão utilizados nas estimativas deste setor é apresentada na **Tabela F1**.

⁸ UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. AP-42: Compilation of Air Pollutant Emission Factors – Chapter 1.8: Bagasse Combustion in Sugar Mills. Washington, DC: EPA, 1996. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-09/documents/1.8_bagasse_combustion_in_sugar_mills.pdf. Acesso em: 10 fev. 2026.

Tabela F1. Apêndice F - Fatores de emissão utilizados para Combustão na Indústria Sucroalcooleira.

Poluente	Fator de emissão	Unidade
CN	39,2	kg/TJ
HCB	0,000005	
CO	570	
COVNM	300	
NH ₃	37	
Indeno(1,2,3-cd)pireno	1,5	
SO _x	38,4	
Se	0,0005	
Benzo(k)fluoranteno	0,005	
Benzo(b)fluoranteno	0,016	
Benzo(a)pireno	0,01	
Zn	0,512	
Ni	0,002	
Cu	0,006	
Cr	0,023	
As	0,00019	
Hg	0,00056	
Cd	0,013	
PCB	0,00006	
Pb	0,027	
CH ₄	11,0	
PTS	78,47	
NO _x	67,26	
MP ₁₀	76,23	
MP _{2,5}	72,98	
PCDD/F	1x10 ⁻⁷	kg I-TEQ/TJ

Fonte: adaptado de EEA (2023).

Tratamentos e premissas adotadas

Não foram necessárias conversões de unidade para as taxas de atividade, uma vez que os fatores de emissão adotados são expressos em função da energia consumida.

Para evitar dupla contagem das emissões associadas ao consumo de bagaço-de-cana, foram excluídos casos em que o mesmo consumo energético era reportado simultaneamente por unidades industriais e por empreendimentos de geração de energia vinculados, considerando-se apenas um registro por instalação.

APÊNDICE G

Parâmetros de estimativa de emissões - Fabricação de cimento (NFR 2.A.1)

Dados de atividade e fontes de dados

Para o setor de produção de clínquer e cimento (NFR 2.A.1), as taxas de atividade foram estimadas a partir da base estruturada de emissões baseada em produtos, considerando os códigos ProdList associados à fabricação de cimentos: 2320.2010; 2320.2020; 2320.2030; 2320.2040; 2320.2050; 2320.2060; 2320.2070; 2320.2080; 2320.2090; 2320.2100.

Considerando que os fatores de emissão adotados são aplicáveis ao processo de clínquerização, foram selecionadas apenas as unidades que efetivamente realizam a produção de clínquer. Para isso, foi realizado cruzamento com as indústrias citadas no Relatório Anual do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC)⁹, que apresenta a estrutura produtiva do setor no Brasil. Adicionalmente, para garantir a correta identificação das unidades produtoras de clínquer, foi realizada a verificação complementar por meio de imagens de satélite, com o objetivo de identificar a presença de estruturas características do processo, como fornos rotativos ou verticais e sistemas associados. Unidades que apenas realizavam moagem ou mistura de cimentos foram excluídas da listagem de unidades produtoras de clínquer.

Nos casos em que os dados declarados estavam associados a diferentes tipos de cimento, procedeu-se à desagregação da produção com base nos teores típicos de clínquer para cada tipo de cimento.

⁹ SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (SNIC). Relatório anual. [S.l.]: SNIC, 2025. Disponível em: https://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/1763075552.pdf. Acesso em: 3 fev. 2026.

Fatores de emissão utilizados

Foram adotados os fatores de emissão *Tier 1* da tabela 3-1 do capítulo 2.1 do EMEP/EEA *Guidebook*, conforme demonstrado a seguir. A unidade de medida tem como referência a emissão de poluente, em quilogramas, por tonelada de clínquer produzida (**Tabela G1**).

Tabela G1. Apêndice G - Fatores de emissão utilizados para Fabricação de Cimento.

Poluente	Fator de emissão	Unidade
PTS	0,26	kg/t de clínquer
MP ₁₀	0,234	
MP _{2,5}	0,13	
CN	0,0039	

Fonte: adaptado de EEA (2023).

Tratamentos e premissas adotadas

Como o fator de emissão exige como dado de entrada a produção de clínquer bruto, foram considerados os valores médios de composição de clínquer do intervalo de classificação do cimento, conforme ABNT NBR 16697:2018. A **Tabela G2** apresenta os valores de composição média de clínquer adotados.

Tabela G2. Apêndice G - Composição média de clínquer por tipo de cimento.

Produto	Composição (%)	Referência
Cimentos Portland compostos (CP - II) Cimentos Portland, n.e.	71	SNIC (2025)
Cimentos Portland pozolânicos (CP - IV)	60	
Cimentos Portland de alta resistência inicial (CP - V)	95	Média para o tipo de cimento informado na ABNT NBR 16697:2018
Cimentos Portland de alto-forno (CP - III)	45	
Cimentos Portland comuns (CP - I)	95	

Fonte: elaborado pelos autores.

APÊNDICE H

Parâmetros de estimativa de emissões - Fabricação de cal (NFR 2.A.2)

Dados de atividade e fontes de dados

Para o setor de produção de cal (NFR 2.A.2), as taxas de atividade foram estimadas a partir da base estruturada de emissões baseada em produtos, considerando os códigos ProdList do IBGE associados à fabricação de cal: 2392.2010; 2392.2020; 2392.2030; 2392.2038; 2392.2040; 2392.9010.

Considerando que os fatores de emissão adotados são aplicáveis ao processo de calcinação, foram selecionadas apenas as unidades que efetivamente realizam a produção de cal por meio desse processo. Para isso, foi realizada verificação por meio de imagens de satélite com o objetivo de identificar a presença de estruturas características, como fornos de calcinação, tanto industriais quanto de menor porte (neste caso, evidenciado pela presença de pátio de biomassa). Também foi realizada conferência cruzada com a relação de empresas associadas à Associação dos Produtores de Derivados do Calcário (APDC)¹⁰, a fim de complementar a identificação das unidades produtivas do setor. Unidades que não apresentaram evidências da presença de fornos de calcinação foram excluídas do inventário, por não caracterizarem efetivamente atividades emissoras associadas ao processo de produção de cal.

Fatores de emissão utilizados

Foram adotados os fatores de emissão *Tier 2* da tabela 3-3 do capítulo 2.2 do EMEP/EEA *Guidebook*, conforme apresentado na **Tabela H1** a seguir. A unidade de medida tem como referência a emissão de poluente, em quilogramas, por tonelada de cal produzida.

¹⁰ ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE DERIVADOS DO CALCÁRIO (APDC). Empresas associadas. [S.l.]: APDC, [s.d.]. Disponível em: <https://appcal.com.br/apdc/empresas-associadas/>. Acesso em: 3 fev. 2026.

Tabela H1. Apêndice H - Fatores de emissão utilizados para Fabricação de Cal.

Tecnologia	Poluente	Fator de emissão	Unidade
Com abatimento de emissões	PTS	0,4	kg/t
	MP ₁₀	0,2	
	MP _{2,5}	0,03	
	CN	0,000138	

Fonte: adaptado de EEA (2023).

Tratamentos e premissas adotadas

Como o fator de emissão exige como dado de entrada a produção de cal, foram considerados os valores médios de composição de cal entre diferentes tipos de produtos declarados por empreendimentos, conforme Tabela H2.

Tabela H2. Apêndice H - Composição média de cal por tipo de produto.

Produto	Composição (%)	Referência
Cal virgem (cal viva)	100	-
Serviço de produção de cal virgem, cal hidratada e gesso		
Dolomita calcinada ou sinterizada		
Cal hidratada ou apagada	75,7	Cálculo estequiométrico
Cal hidráulica (para a indústria do cimento)	70	Admitido até 70% de composição de cal

Fonte: elaborado pelo autor.

APÊNDICE I

Parâmetros de estimativa de emissões - Fabricação de vidro (NFR 2.A.3)

Dados de atividade e fontes de dados

As taxas de atividade para o setor de fabricação de vidro (NFR 2.A.3) foram estimadas a partir da base estruturada de emissões baseada em produtos, considerando os códigos ProdList do IBGE associados à produção de vidro plano, embalagens de vidro e artigos de vidro.

Para a produção de vidro plano, foram considerados os códigos: 2311.2005; 2311.2010; 2311.2025; 2311.2030; 2311.2040; 2311.9010. Para embalagens de vidro (vidro oco), foram utilizados os códigos: 2312.2010; 2312.2020; 2312.2030; 2312.2040; 2312.9010. Já para a produção de artigos de vidro, incluindo lâ de vidro e fibras de vidro contínuo (filamentos), foram considerados os códigos: 2319.2010; 2319.2030; 2319.2040; 2319.2045; 2319.2060; 2319.2080; 2319.2090; 2319.2100; 2319.2110; 2319.2120; 2319.2130; 2319.2140; 2319.2150; 2319.2160; 2319.2170; 2319.2180; 2319.2195; 2319.2220; 2319.2235; 2319.2245; 2319.2250; 2319.2280; 2319.9020.

Considerando a relevância das diferenças tecnológicas e de processo entre os tipos de vidro, foi realizada a distinção entre vidro plano, vidro oco (embalagens) e vidro técnico (fibras contínuas e lâ de vidro), conforme classificação observada nas bases de dados e nas diretrizes do EMEP/EEA *Guidebook*.

A verificação e complementação das unidades produtoras foram realizadas por meio de conferência cruzada com a relação de empresas associadas à Associação Brasileira das Indústrias de Vidro (ABIVIDRO)¹¹, que apresenta a segmentação dos fabricantes por tipo de produto. Essa etapa permitiu validar a representatividade das unidades identificadas e assegurar a correta classificação das atividades por tipologia de vidro produzido.

Fatores de emissão utilizados

Foram adotados os fatores de emissão *Tier 2* das tabelas 3-2, 3-3, 3-4 e 3-5 do capítulo 2.A.3 do EMEP/EEA *Guidebook*, aplicáveis, respectivamente, à produção de vidro plano, vidro oco, fibras de vidro contínuas (filamentos) e lâ de vidro, conforme apresentado na tabela a seguir. A unidade de medida tem como referência a emissão de poluente, em quilogramas, por tonelada de vidro produzido, conforme **Tabela I1**.

¹¹ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE VIDRO (ABIVIDRO). Empresas associadas. [S.l.]: ABIVIDRO, [s.d.]. Disponível em: <https://abividro.org.br/associados/>. Acesso em: 3 fev 2026.

Tratamentos e premissas adotadas

Para um empreendimento, foi necessária a conversão de número de garrafas produzidas para tonelada de vidro produzido. Neste caso, foi considerado o produto predominante da unidade e atribuída a massa de 0,39 kg/por garrafa¹², conforme referência similar identificada em outra empresa.

Tabela I1. Apêndice I - Fatores de emissão utilizados para Fabricação de Vidro.

Tecnologia	Poluente	Fator de emissão	Unidade
Fibra de vidro contínua (filamento)	MP ₁₀	0,09	kg/t de fibra de vidro
	PTS	0,1	
	CN	0,0014	
	MP _{2,5}	0,07	
Vidro oco	Se	0,0015	kg/t de vidro oco
	Ni	0,00024	
	Cr	0,00037	
	MP _{2,5}	0,22	
	As	0,00029	
	Pb	0,0029	
	MP ₁₀	0,25	
	PTS	0,28	
	CN	0,000136	
Vidro plano	Cd	0,00012	kg/t de vidro plano
	MP _{2,5}	0,01	
	MP ₁₀	0,12	
	PTS	0,13	
	CN	6,2x10 ⁻⁶	
	Pb	0,0004	
	Cd	0,000068	
	Se	0,00015	
	Ni	0,00074	
	Cu	0,000007	
	Cr	0,00008	
	Zn	0,00037	
	As	0,00008	
	Hg	0,000003	
Lã de vidro	NH ₃	1,4	kg/t de lã de vidro
	COVNM	0,5	
	MP _{2,5}	0,52	
	MP ₁₀	0,59	
	PTS	0,67	
	CN	0,0104	

Fonte: adaptado de EEA (2023).

¹² [1] VIDROPORTO S.A. Garrafa 600 ml âmbar. [S.L.: s.n.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.vidroporto.com.br/produto/398-garrafa-600ml-ambar>. Acesso em: 3 fev. 2026.

APÊNDICE J

Parâmetros de estimativa de emissões - Fabricação de produtos químicos (NFR 2.B)

Dados de atividade e fontes de dados

Para o setor da indústria química (NFR 2.B), as taxas de atividade foram estimadas a partir da base estruturada de emissões baseada em produtos, considerando os seguintes códigos ProdList: 2012.2020 (ácido nítrico), 2012.2030 (ácido sulfúrico), 2012.2040 (amônia), 2012.2070 (fosfatos de monoamônio - MAP), 2012.2080 (fosfatos de diamônio - DAP), 2012.2110 (nitrato de amônio), 2012.2130 (óleo), 2012.2150 (sulfato de amônio), 2012.2170 (superfosfatos duplo e triplo), 2012.2180 (superfosfatos simples), 2012.2200 (ureia), 2013.2020 (fertilizantes com fósforo e potássio), 2013.2030 (fertilizantes com nitrogênio, fósforo e potássio - NPK), 2013.2040 (fertilizantes com nitrogênio e fósforo), 2013.2060 (fertilizantes fosfatados), 2019.2120 (carbonetos de cálcio, silício e outros), 2019.2280 (dióxidos de titânio), 2022.2100 (ácido adípico), 2021.2040 (eteno), 2021.2100 (propeno), 2022.2020 (1,2-dicloroetano), 2022.2240 (cloreto de vinila), 2022.2280 (estireno), 2022.2290 (etilbenzeno), 2022.2370 (metanal), 2022.2130 (acrilonitrila), 2022.2170 (anidrido ftálico), 2029.2840 (oxirano), 2029.2800 (negro de fumo), 2031.2020 (ABS), 2031.2090 (PVC), 2031.2100 (poliestireno), 2031.2110 (poliestireno expansível), 2031.2130 (PEAD), 2031.2140 (PEBD), 2031.2150 (polietileno linear de densidade inferior a 0,94), 2031.2185 (polímeros de estireno em formas primárias, n.e.), 2031.2230 (polipropileno), 2033.2010 (borracha de estireno-butadieno) e 2033.2050 (látex de borracha de estireno-butadieno - SBR).

Observou-se que a produção nacional desses compostos é altamente concentrada, com poucos estabelecimentos produtores e, em diversos casos, apenas uma unidade produtora em escala nacional. Essa característica reflete a elevada complexidade tecnológica e a forte concentração de capital típica da indústria química, o que exigiu uma busca ativa por unidades industriais.

Como verificação complementar, foi realizada consulta à relação de empresas associadas à Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUM)¹³, com o objetivo de identificar unidades produtoras relevantes e validar a presença dos produtos considerados no rol de produtos do associado.

¹³ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. Associadas. São Paulo: ABIQUIM, [s.d.]. Disponível em: <https://abiquim.org.br/abiquim/associadas>. Acesso em: 3 fev 2026.

Fatores de emissão utilizados

Foram adotados os seguintes fatores de emissão *Tier 2* do capítulo 2.B do EMEP/EEA *Guidebook*, considerando a correspondência entre os códigos ProdList e os fatores de emissão: produção de ácido sulfúrico (tabela 3-22), sulfato de amônio (tabela 3-26), nitrato de amônio (tabela 3-27), ureia (tabela 3-29), negro de fumo (tabela 3-30), fertilizantes fosfatados (tabela 3-35), olefinas como eteno e propeno (tabela 3-36), produção de EDC e VCM (tabela 3-37), polietilenos de baixa e alta densidade (tabelas 3-39 e 3-40), PVC (tabela 3-41), polipropileno (tabela 3-43), estireno (tabela 3-44), poliestirenos, incluindo EPS e HIPS (tabelas 3-47 e 3-46), látex e borracha de estireno-butadieno (tabelas 3-49 e 3-50), óxido de etileno (tabela 3-52), formaldeído (tabela 3-54), etilbenzeno (tabela 3-56), anidrido ftálico (tabela 3-57) e acrilonitrila (tabela 3-59). A unidade de medida tem como referência a emissão de poluente, em quilogramas, por tonelada de produto produzido, conforme **Tabela J1**.

Tabela J1. Apêndice J - Fatores de emissão utilizados para Indústria Química.

Produto	Poluente	Fator de emissão	Unidade
Ácido sulfúrico	SO _x	3	kg/t
Sulfato de amônio	PTS	60	kg/t
Nitrato de amônio	PTS	200	kg/t
	NH ₃	30	
Ureia	CN	0,018	kg/t
	MP _{2,5}	0,9	
	MP ₁₀	1,2	
	NH ₃	2,5	
	PTS	1,5	
Negro de fumo	NO _x	15	kg/t
	CO	3	
	CH ₄	0,06	
	COVNM	0,7	
	SO _x	22	
	PTS	0,3	
	MP ₁₀	0,27	
	MP _{2,5}	0,24	
Fertilizantes fosfatados	CN	0,024	kg/t
	PTS	0,3	
	MP _{2,5}	0,18	
	MP ₁₀	0,24	
Eteno	CH ₄	3	kg/t
	COVNM	0,6	
Propileno	COVNM	0,6	kg/t

6. Apêndices

Produto	Poluente	Fator de emissão	Unidade
EDC e VCM	CH ₄	0,0226	kg/t
	COVNM	2,5	
PEBD e PELBD	COVNM	2,4	kg/t
	PTS	0,31	
PEAD	PTS	0,097	kg/t
	COVNM	2,3	
PVC	COVNM	0,096	kg/t
	PTS	0,263	
	MP ₁₀	0,1	
	MP _{2,5}	0,005	
	CN	0,00009	
Polipropileno	COVNM	4	kg/t
	PTS	1,5	
Estireno	COVNM	1	kg/t
EPS	COVNM	3,2	kg/t
	PTS	0,03	
HIPS	PTS	0,004	kg/t
	COVNM	0,12	
Látex SBR	COVNM	9	kg/t
Borracha de EB	COVNM	5	kg/t
Oxirano	CH ₄	1,79	kg/t
	COVNM	2	
Formaldeído	COVNM	1,5	kg/t
	CO	0,2	
Etilbenzeno	COVNM	0,1	kg/t
Anidrido ftálico	COVNM	1,3	kg/t
Acrilonitrila	CH ₄	0,18	kg/t
	COVNM	1	

Fonte: adaptado de EEA (2023).

Tratamentos e premissas adotadas

Não foram necessárias conversões de unidade para obter as taxas de atividade.

APÊNDICE K

Parâmetros de estimativa de emissões - Fabricação de ferro e aço (NFR 2.C.1)

Dados de atividade e fontes de dados

Para o setor de fabricação de ferro e aço (NFR 2.C.1), as taxas de atividade foram obtidas a partir dos Anuários Estatísticos do Instituto Aço Brasil, considerando as edições mais recentes disponíveis (2025¹⁴ e 2023¹⁵), de forma a cobrir o período de análise entre 2017 e 2023.

Os dados disponibilizados nos anuários são, em alguns casos, apresentados de forma agregada por grupo empresarial (como nos casos de ArcelorMittal e Gerdau, por exemplo). Nesses casos, a base estruturada baseada em processos de produção foi utilizada para estimar a distribuição da produção entre as diferentes unidades operacionais, adotando-se a proporcionalidade da produção declarada pelas instalações.

Para unidades não contempladas nos anuários, como observado para a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), foram utilizados diretamente os dados da base estruturada baseada na produção informada no RAPP, garantindo a cobertura completa do setor.

Ainda, para a produção de ferro-gusa, foram considerados os dados associados aos códigos ProdList 2411.2010 e 2411.9010. Verificou-se a existência de diversas unidades produtoras na base do RAPP, incluindo plantas independentes, as quais foram incorporadas às estimativas de produção desse setor.

Fatores de emissão utilizados

Foram adotados os fatores de emissão *Tier 2* das tabelas 3-14, 3-15, 3-2 e 3-8 do capítulo 2.C.1 do EMEP/EEA *Guidebook*, aplicáveis, respectivamente, aos conversores a oxigênio (BOF/LD), aos fornos elétricos a arco (EAF), ao processo de produção de sinter e à carga em alto-forno.

¹⁴ INSTITUTO AÇO BRASIL. Anuário estatístico 2025. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2025. Disponível em: https://www.acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2025/08/AcoBrasil_Anuario_2025.pdf. Acesso em: 5 fev. 2026.

¹⁵ INSTITUTO AÇO BRASIL. Anuário estatístico 2023. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2023. Disponível em: <https://www.acobrasil.org.br/site/noticia/anuario-estatistico-2023/>. Acesso em: 5 fev. 2026.

6. Apêndices

A unidade de medida tem como referência a emissão de poluente, em quilogramas, por tonelada de produto produzido, sendo expressa em kg/t de aço para os processos BOF/LD e EAF, kg/t de sínter para a sinterização e kg/t de ferro-gusa para alto-forno. A **Tabela K1** apresenta os fatores de emissão, unidades e tecnologias consideradas nas estimativas deste setor.

Tabela K1. Apêndice K - Fatores de emissão utilizados para a Fabricação de Ferro e Aço.

Tecnologia	Poluente	Fator de emissão	Unidade
Conversores a Oxigênio (BOF/LD)	As	0,0004	kg/t de aço
	CN	0,000101	
	Cd	0,000067	
	CO	3,5	
	Cr	0,0023	
	Cu	0,00002	
	Hg	1,4E-06	
	Ni	0,00013	
	NO _x	0,01	
	Pb	0,004	
	PCB	2,5x10 ⁻⁶	
	MP ₁₀	0,032	
	MP _{2,5}	0,028	
	Se	0,000003	
	PTS	0,035	
	Zn	0,004	
	PCDD/F	6,9x10 ⁻¹⁰	kg I-TEQ/t de aço
Forno a Arco Elétrico (EAF)	As	0,000015	kg/t de aço
	CN	7,56x10 ⁻⁵	
	Cd	0,0002	
	CO	1,7	
	Cr	0,0001	
	Cu	0,00002	
	Hg	0,00005	
	Ni	0,0007	
	COVNM	0,046	
	NO _x	0,13	
	Pb	0,0026	
	PCB	2,5x10 ⁻⁶	
	MP ₁₀	0,024	
	MP _{2,5}	0,021	
	SO _x	0,06	
	PTS	0,03	
	Zn	0,0036	
	PCDD/F	3x10 ⁻⁹	kg I-TEQ/t de aço

6. Apêndices

Tecnologia	Poluente	Fator de emissão	Unidade
Sinterização	As	0,000018	kg/t de sinter
	CN	0,000136	
	Cd	0,000004	
	Cr	0,000016	
	Cu	0,000033	
	HCB	$3,2 \times 10^{-8}$	
	Hg	0,000049	
	Ni	0,00009	
	CH ₄	0,07	
	COVNM	0,138	
	Pb	0,0035	
	PCB	9×10^{-8}	
	MP ₁₀	0,1	
	MP _{2,5}	0,08	
	Se	0,00002	
	PTS	0,2	
	Zn	0,00006	
	PCDD/F	8×10^{-9}	kg I-TEQ/t de sinter
Alto-forno	Cu	0,000015	kg/t de ferro-gusa
	MP _{2,5}	0,025	
	MP ₁₀	0,04	
	PTS	0,05	
	Pb	6×10^{-7}	
	Hg	1×10^{-7}	
	PCB	0,000002	
	Cr	3×10^{-7}	
	CN	0,0006	
	Zn	0,000073	
	PCDD/F	2×10^{-12}	kg I-TEQ/t de ferro-gusa

Fonte: adaptado de EEA (2023).

Tratamentos e premissas adotadas

Foram adotados critérios de compatibilização entre os dados de atividade e os fatores de emissão, considerando as diferentes etapas do processo siderúrgico. Assim, os fatores de emissão foram aplicados de forma específica para cada rota produtiva, incluindo conversores a oxigênio (BOF/LD), fornos elétricos a arco (EAF), sinterização e alto-forno.

Nos casos em que os dados de produção estavam agregados por grupo empresarial, foi adotado critério de desagregação proporcional com base nas informações do RAPP. Nos casos em que os produtos no RAPP não refletiam a necessidade exata do fator de emissão, assumiu-se distribuição proporcional do total reportado ao relatório anual do Instituto Aço Brasil ao produto acabado reportado ao RAPP.

Para a produção de ferro-gusa, foram consideradas tanto as unidades integradas às usinas siderúrgicas quanto plantas independentes identificadas na base do RAPP, reconhecendo a relevância desse segmento no contexto brasileiro.

Não foram necessárias conversões de unidade para as taxas de atividade, uma vez que os fatores de emissão adotados são compatíveis com os dados de produção em base mássica.

APÊNDICE L

Parâmetros de estimativa de emissões - Fabricação de ferroligas e silício metálico (NFR 2.C.2)

Dados de atividade e fontes de dados

Para o setor de produção de ferroligas e silício metálico (NFR 2.C.2), as taxas de atividade foram estimadas a partir da base estruturada de emissões baseada em produtos, considerando os códigos ProdList do IBGE associados à fabricação de ferroligas e silício metálico: 2412.2010, 2412.2020, 2412.2030, 2412.2040, 2412.2050, 2412.2060, 2412.2070, 2412.9010 e 2099.2225.

Como verificação cruzada das unidades produtoras, foram consultadas as empresas associadas à Associação Brasileira dos Produtores de Ferroligas e de Silício Metálico (ABRAFE)¹⁶, que reúne os principais produtores do país, representando parcela significativa da produção nacional do setor.

Essa etapa permitiu validar a representatividade das unidades identificadas na base de dados e garantir a cobertura de todas as plantas industriais, considerando a elevada concentração produtiva característica desse segmento.

Fatores de emissão utilizados

Foram adotados fatores de emissão *Tier 1* da tabela 3-1 do capítulo 2.C.2 do EMEP/EEA *Guidebook*, aplicáveis à produção de ferroligas e silício metálico (**Tabela L1**). A unidade de medida tem como referência a emissão de poluente, em quilogramas, por tonelada de produto produzido (kg/t).

¹⁶ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE FERROLIGAS E DE SILÍCIO METÁLICO (ABRAFE). As-sociadas. Belo Horizonte: ABRAFE, [s.d.]. Disponível em: <https://abrafe.ind.br/>. Acesso em: 3 fev. 2026

Tabela L1. Apêndice L - Fatores de emissão utilizados para a Fabricação de Ferroligas e Silício Metálico.

Poluente	Fator de emissão	Unidade
PTS	1,00	kg/t de ferroliga ou silício metálico
MP ₁₀	0,85	
MP _{2,5}	0,60	
CN	0,06	

Fonte: adaptado de EEA (2023).

Tratamentos e premissas adotadas

Não foram necessárias conversões de unidade para as taxas de atividade, uma vez que os dados de produção e os fatores de emissão adotados são compatíveis em base mássica.

Considerando a natureza do setor, caracterizado por um número reduzido de unidades produtoras e elevada concentração industrial, assumiu-se que as unidades identificadas representam adequadamente a produção nacional de ferroligas e silício metálico.

APÊNDICE M

Parâmetros de estimativa de emissões - Fabricação de alumínio (NFR 2.C.3)

Dados de atividade e fontes de dados

A estimativa de emissões para o setor de alumínio foi segmentada entre as rotas de produção primária e secundária (reciclagem). A identificação das unidades produtivas e de seus respectivos processos no segmento primário foi realizada mediante o cruzamento de dados de produção com a base de associados da Associação Brasileira do Alumínio (ABAL)¹⁷, garantindo que as tecnologias de eletrólise e refino fossem mapeadas de acordo com a realidade operacional das plantas nacionais.

Para o setor de produção de alumínio (NFR 2.C.3), as estimativas foram realizadas considerando as produções primária e secundária. As taxas de atividade foram obtidas a partir da base estruturada de emissões baseada em produção, considerando os seguintes códigos ProdList associados à fabricação de alumínio: 2441.2010; 2441.2020; 2441.2030; 2441.2045; 2441.2050; 2441.2080; 2441.2090; 2441.2100; 2441.2110; 2441.2120; 2441.2130; 2441.2140; 2441.2150; 2441.9010.

Para a identificação das unidades produtoras de alumínio primário e a caracterização dos processos produtivos associados, foi realizada verificação cruzada com as empresas associadas à Associação Brasileira do Alumínio (ABAL), que reúne os principais produtores do setor no país.

Fatores de emissão utilizados

Foram adotados fatores de emissão *Tier 2* do capítulo 2.C.3 do EMEP/EEA *Guidebook*, conforme compilação apresentada na **Tabela M1**. Para a produção de alumínio primário, foram considerados os processos eletrolíticos, diferenciando-se entre tecnologias com ânodos pré-cozidos (tabela 3-2) e ânodos Söderberg (tabela 3-3). Para a produção secundária (reciclagem), foram adotados os fatores de emissão da tabela 3-4, aplicáveis aos processos térmicos de fusão. A unidade de medida tem como referência a emissão de poluente, em quilogramas, por tonelada de alumínio produzido (kg/t).

¹⁷ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO (ABAL). Associados. São Paulo: ABAL, [s.d.]. Disponível em: <https://abal.org.br/a-abal/#associados>. Acesso em: 3 fev. 2026.

Tabela M1. Apêndice M - Fatores de emissão utilizados para a Fabricação de Alumínio.

Tecnologia	Poluente	Fator de emissão	Unidade
Produção primária: Âodos pré-cozidos	CN	0,0092	kg/t
	Benzo(b)fluoranteno	0,00002	
	Benzo(a)pireno	0,00007	
	Benzo(k)fluoranteno	0,00002	
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,00001	
	MP _{2,5}	0,4	
	MP ₁₀	0,5	
	PTS	0,6	
	CO	120,0	
	SO _x	5,0	
	NO _x	1,0	
Produção secundária	PCDD/F	0,000035	kg I-TEQ/t
	CN	0,01265	kg/t
	HCB	0,005	
	MP _{2,5}	0,55	
	MP ₁₀	1,4	
	PTS	2,0	
Produção primária: Âodos Söderberg	CN	0,0253	kg/t
	Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,0011	
	Benzo(k)fluoranteno	0,009	
	Benzo(b)fluoranteno	0,009	
	Benzo(a)pireno	0,009	
	SO _x	4,5	
	MP _{2,5}	1,1	
	MP ₁₀	1,5	
	PTS	1,8	
	CO	120	
	NO _x	1,0	

Fonte: adaptado de EEA (2023).

Tratamentos e premissas adotadas

Não foram necessárias conversões de unidade para as taxas de atividade, uma vez que os dados de produção e os fatores de emissão adotados são compatíveis em base mássica. Para a produção secundária de alumínio, foi adotado um limiar mínimo de 10 mil toneladas anuais para inclusão das unidades no inventário, assumindo que instalações abaixo desse patamar apresentam contribuição marginal para as emissões totais do setor, uma vez que se torna difícil identificar estruturas típicas

Não foram necessárias conversões de unidade para as taxas de atividade, uma vez que os dados de produção e os fatores de emissão adotados são compatíveis em base mássica.

APÊNDICE N

Parâmetros de estimativa de emissões - Fabricação de chumbo (NFR 2.C.5)

Dados de atividade e fontes de dados

As emissões da produção de chumbo no Brasil se dão exclusivamente pela rota secundária, caracterizada nas etapas de fundição, refino e recuperação de sucatas ou a partir da utilização de formas primária de chumbo (placas, lingotes, entre outros). A identificação das unidades produtivas e de seus respectivos processos foi realizada por meio do cruzamento das informações de produção, obtidas por meio do RAPP, com registros industriais disponíveis em associação do setor de produção e reciclagem de baterias chumbo-ácido¹⁸.

As taxas de atividade foram obtidas a partir da base estruturada de emissões baseada em produção, considerando os códigos ProdList relacionados à produção secundária de chumbo, incluindo baterias automotivas: 2449.2080, 2449.9030, 2449.2040, 4100.9020, 2722.2010.

Fatores de emissão utilizados

Foram adotados fatores de emissão *Tier 2* do capítulo 2.C.5 do EMEP/EEA *Guidebook*, conforme compilado na **Tabela N1**. Como somente há registro de produção secundária de chumbo, consideraram-se os valores da Tabela 3-5, os quais também levam em consideração tecnologias de abatimento para a atividade. A unidade de medida tem como referência a emissão de poluente, em quilogramas, por tonelada de chumbo produzido (kg/t).

¹⁸ INSTITUTO BRASILEIRO DE ENERGIA RECICLÁVEL (IBER). Associados. IBER, [s.d.]. Disponível em: <https://iberbrasil.org.br/associados>. Acesso em 3 fev 2026.

Tabela N1. Apêndice N - Fatores de emissão utilizados para a Fabricação de Chumbo.

Tecnologia	Poluente	Fator de emissão	Unidade
Produção secundária com tratamento de emissões	MP ₁₀	0,016	kg/t de chumbo
	MP _{2,5}	0,008	
	Pb	0,0011	
	PTS	0,02	
	Zn	0,00005	
	As	0,0003	
	Cd	0,00005	
	SO _x	5	
	PCB	0,0000026	
	PCDD/F	0,0000032	kg I-TEQ/t de chumbo

Fonte: adaptado de EEA (2023).

Tratamentos e premissas adotadas

Para quase a totalidade das declarações não foram necessárias conversões de unidade para as taxas de atividade, uma vez que os dados de produção e os fatores de emissão adotados são compatíveis em base mássica. No caso específico de uma unidade que declarou apenas a produção de baterias, considerou-se o uso médio de 10 kg de chumbo por bateria de chumbo-ácido produzida.

APÊNDICE O

Parâmetros de estimativa de emissões -
Fabricação de zinco (NFR 2.C.6)

Dados de atividade e fontes de dados

Para a fabricação de zinco, foram consideradas as emissões de processo de produção primária, tendo como fonte de dados apenas a produção declarada no RAPP para produtos de código ProdList 2449.2210, uma vez que não foi identificada associação industrial específica para o setor.

Fatores de emissão utilizados

Foram adotados os fatores de emissão compilados na **Tabela O1** com base no *Tier 1* do capítulo 2.C.6 do EMEP/EEA *Guidebook*. Para a produção primária de zinco, foram considerados os fatores de emissão com abatimento da Tabela 3-2 do mesmo guia. A unidade de medida tem como referência a emissão de poluente, em quilogramas, por tonelada de zinco produzido (kg/t).

Tabela O1. Apêndice O - Fatores de emissão utilizados para a Fabricação de Zinco.

Tecnologia	Poluente	Fator de emissão	Unidade
Produção primária com abatimento de emissões	PCDD/F	0,000005	kg I-TEQ/t de zinco
	PCB	0,0000009	kg/t de zinco
	Zn	0,005	
	Hg	0,0006	
	PTS	0,015	
	Cd	0,00004	
	Pb	0,00017	
	MP ₁₀	0,013	
	MP _{2,5}	0,012	
	SO _x	1,35	

Fonte: adaptado de EEA (2023).

APÊNDICE P

Parâmetros de estimativa de emissões – Fabricação de cobre (NFR 2.C.7.a)

Dados de atividade e fontes consultadas

Os dados de atividade para a produção de cobre foram obtidos diretamente junto aos formulários de produção do RAPP acompanhados da validação das unidades produtoras com o cruzamento de informações do anuário mais recente publicado pela Associação Brasileira do Cobre¹⁹ (ABCOBRE). Neste levantamento, foram consideradas somente as unidades de produção primária de cobre, priorizando-se a forma bruta representada pelo código ProdList 2443.2060.

Fatores de emissão utilizados

Para a produção primária de cobre foram adotados os fatores de emissão *Tier 1* da Tabela 3-1 do capítulo 2.C.7.a do EMEP/EEA *Guidebook*. A unidade de medida tem como referência a emissão de poluente, em quilogramas, por tonelada de cobre produzido (kg/t). A **Tabela P1** a seguir apresenta os fatores de emissão adotados nas estimativas deste setor.

Tabela P1. Apêndice P - Fatores de emissão utilizados para a Produção de Cobre.

Tecnologia	Poluente	Fator de emissão	Unidade
Produção primária de cobre	PCDD/F	1x10 ⁻¹¹	kg I-TEQ/t de cobre
	Ni	0,019	kg/t de cobre
	Hg	0,000031	
	Cr	0,021	
	Cd	0,015	
	As	0,007	
	MP _{2,5}	0,2	
	MP ₁₀	0,26	
	Pb	0,016	
	PTS	0,32	
	Cu	0,057	
	SO _x	10,4	
	CN	0,0002	

Fonte: adaptado de EEA (2023).

¹⁹ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COBRE (ABCOBRE). Anuário Brasileiro do Cobre 2023: ano-base 2022. São Paulo: ABCOBRE, 2023. Disponível em: <https://www.virapagina.com.br/abcbre2023/>. Acesso em: 6 fev. 2026.

Tratamentos e premissas adotadas

Não foram necessárias conversões de unidade para as taxas de atividade, uma vez que os dados de produção e os fatores de emissão adotados são compatíveis em base mássica.

APÊNDICE Q

Parâmetros de estimativa de emissões - Indústria da fundição (NFR 2.C.7.c)

Dados de atividade e fontes consultadas

Para a indústria de fundição, foram considerados apenas os empreendimentos afiliados e/ou identificados pela Associação Brasileira de Fundição (ABIFA) em seus guias anuais²⁰. Nesse caso, o uso do RAPP foi descartado em razão da unidade predominante utilizada pelos empreendimentos para a declaração de produção, correspondente ao número de unidades produzidas. Essa forma de declaração impossibilita a conversão direta para unidades de massa, em função da ampla diversidade de peças fundidas, que varia desde pequenas ferramentas e acessórios até blocos de motores para veículos pesados.

Assim, a produção adotada para cada ano correspondeu àquela disponibilizada no guia publicado no ano subsequente. Quando essa informação não estava disponível, em decorrência de lacunas nas declarações encaminhadas à ABIFA, utilizou-se a capacidade instalada das unidades, de modo a adotar uma abordagem mais conservadora. Às unidades identificadas nos guias da ABIFA foram associadas as informações constantes no CTF/APP, incluindo as coordenadas geográficas das plantas industriais.

Fatores de emissão utilizados

Foram adotados fatores de emissão *Tier 1* da tabela 3-1 do capítulo 2.C.2 do EMEP/EEA *Guidebook*, que também são aplicáveis à produção de ferroligas e silício metálico (**Tabela Q1**). A unidade de medida tem como referência a emissão de poluente, em quilogramas, por tonelada de produto produzido (kg/t).

²⁰ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO (ABIFA). E-books ABIFA. Disponível em: <https://abifa.org.br/site/ebooks/>. Acesso em: 6 fev. 2026.

Tabela Q1. Apêndice Q - Fatores de emissão utilizados para a Indústria de Fundição.

Poluente	Fator de emissão	Unidade
PTS	1,0	kg/t de peças fundidas produzidas
MP ₁₀	0,85	
MP _{2,5}	0,6	
CN	0,06	

Fonte: adaptado de EEA (2023).

Tratamentos e premissas adotadas

Não foram necessárias conversões de unidade para as taxas de atividade, uma vez que os dados de produção e os fatores de emissão adotados são compatíveis em base mássica.

APÊNDICE R

Parâmetros de estimativa de emissões - Aplicações em superfície: montagem de veículos (NFR 2.D.3.d)

Dados de atividade e fontes de dados

As atividades de aplicações em superfície: montagem de veículos foram identificadas a partir das declarações de produção constantes no RAPP, considerando os produtos classificados nos códigos ProdList 2910.2060, 2910.2010, 2910.2040, 2910.2020, 2910.2070, 2910.2050, 2910.2030 e 2910.2130. Para a validação dos empreendimentos pertencentes ao setor, as unidades identificadas foram comparadas à relação de empresas associadas da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA)²¹. As taxas de atividade foram obtidas a partir da base estruturada de emissões baseada em produção, considerando a produção declarada para os códigos ProdList selecionados.

Fatores de emissão utilizados

Foram adotados os fatores de emissão *Tier 2* da tabela 3-6 do capítulo 2.D.3.d do EMEP/EEA *Guidebook*. Considerou-se o cenário correspondente a linhas de pintura com *primer* e tinta base à base de solvente, sem a utilização de tecnologias secundárias de abatimento de emissões. A unidade de medida tem como referência a emissão de compostos orgânicos voláteis não metânicos (COVNM), expressa em quilogramas por veículo produzido. Foi adotado o fator de emissão de 8 kg COVNM/veículo, representativo das emissões provenientes das operações de preparação e aplicação de revestimentos superficiais durante a montagem de veículos.

Tratamentos e premissas adotadas

Não foram necessárias conversões de unidade para as taxas de atividade, uma vez que os dados de produção estão expressos em número de veículos produzidos, unidade compatível com a adotada pelos fatores de emissão.

²¹ ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES (ANFAVEA). Associadas. São Paulo: ANFAVEA. Disponível em: <https://anfavea.com.br/site/associadas/>. Acesso em: 6 fev. 2026.

APÊNDICE S

Parâmetros de estimativa de emissões - Fabricação de celulose e papel (NFR 2.H.1)

Dados de atividade e fontes consultadas

As atividades de produção de papel e celulose incluídas neste inventário contemplam unidades produtivas que, necessariamente, produzem celulose a partir de matérias-primas florestais, seja pela rota ácida ou alcalina (*Kraft*) e que, portanto, não consideram os empreendimentos com polpação mecânica ou que produzem papel a partir de celulose adquirida ou aparas e papel reciclado. Para tanto, foram considerados empreendimentos com produção declarada no RAPP para os produtos de código ProdList 1710.2030, 1721.2090, 1710.2050, 1710.9010, 1721.2080, 1710.2040, 1749.2030, 1721.2150, 1721.2030, 1721.2110, 1722.2080, 1721.2160 e 1721.2120.

Para identificar os empreendimentos que, de fato, se enquadram nas categorias de produção de celulose e papel, as indústrias selecionadas foram comparadas com as associadas ao Indústria Brasileira de Árvores²². (IBÁ), bem como foi realizada a identificação de estruturas típicas da atividade por imagens de satélite, tais como evaporadores, forno de cal, caustificação e pátio de madeira.

As emissões provenientes da produção de cal no setor de celulose e papel foram avaliadas no setor 2.A.2 - Fabricação de cal. As emissões provenientes da combustão de outros combustíveis foram consideradas no setor 1.A.2.d - Combustão na indústria de papel e celulose.

Fatores de emissão utilizados

Foram adotados fatores de emissão *Tier 2* das Tabelas 3-2 e 3-3 do capítulo 2.H.1 do EMEP/EEA *Guidebook*, aplicáveis ao processo *Kraft* e sulfito, respectivamente (**Tabela S1**). A unidade de medida tem como referência a emissão de poluente, em quilogramas, por tonelada de celulose produzida (kg/t).

²² INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). Relatório Anual 2025. Brasília: IBÁ, 2025. Disponível em: https://iba.org/wp-content/uploads/2025/10/IBA_relatorio_digital_POR.pdf. Acesso em: 6 fev. 2026.

Tabela S1. Apêndice S - Fatores de emissão utilizados para a Fabricação de Celulose e Papel.

Tecnologia	Poluente	Fator de emissão	Unidade
Processo Kraft	CN	0,0156	kg/t de celulose
	MP _{2,5}	0,6	
	NO _x	1,0	
	CO	5,5	
	COVNM	2,0	
	SO _x	2,0	
	PTS	1,0	
	MP ₁₀	0,8	
Processo sulfito	COVNM	0,2	kg/t de celulose
	MP ₁₀	0,8	
	SO _x	1,64	
	PTS	1,0	
	NO _x	2,0	
	MP _{2,5}	0,6	
	CN	0,0156	

Fonte: adaptado de EEA (2023).

Tratamentos e premissas adotadas

Como o fator de emissão exige como dado de entrada a produção de celulose, foi necessário realizar a conversão mássica de produtos declarados (papel *kraft*, papel *tissue*, entre outros) para a produção de celulose, conforme as composições apresentadas na Tabela S2 a seguir.

6. Apêndices

Tabela S2. Apêndice S – Composição de celulose.

Produto	Composição de celulose (%)	Referência
Pastas químicas de madeira (celulose), processo sulfato branqueadas	100	Composição estimada a partir de <i>European Commission</i> (2015)
Pastas químicas de madeira, processo sulfato, não branqueadas		
Pastas químicas de madeira para dissolução (cruas, semibranqueadas ou branqueadas)		
Serviços de produção de celulose e de pastas para a fabricação de papel ou serviços relacionados	90	
Papel para usos na escrita, impressão e outros fins gráficos (ofsete, bíblia, <i>bouffant</i> , <i>couché</i> , monolucido, etc.), não revestido		
Papel para uso na escrita, impressão e outros usos gráficos, revestidos de matéria inorgânica	97	
Papel em rolos contínuos utilizados na fabricação de papéis higiênicos, lenços, toalhas ou semelhantes para uso doméstico ou sanitário		
Papel <i>kraft</i> para embalagem, não revestido, exceto encrespado ou estampado	93	
Papel <i>kraft</i> , para sacos de grande capacidade, não revestido, encrespado, estampado ou perfurado	90	
Papel <i>kraftliner</i> para cobertura, não revestido		
Papel-cartão ou cartolina revestidos com substâncias inorgânicas (papel-cartão <i>kraft</i> , <i>couché</i> leve)		
Artefatos de papel, de pasta ("ouate") ou de mantas de fibra de celulose para usos diversos, exceto doméstico e higiênico-sanitário	85	
Papel miolo (papel semiquímico para ondular), não revestido (para caixas de papelão ondulado)	95	

Fonte: elaborado pelos autores.

APÊNDICE T

Parâmetros de estimativa de emissões - Fabricação de alimentos, bebidas e tabaco (NFR 2.H.2)

Dados de atividade e fontes consultadas

Para o setor de fabricação de produtos alimentícios e bebidas, as taxas de atividade foram estimadas a partir da base de dados de emissões baseada em produtos, considerando os códigos ProdList do IBGE associados às divisões de fabricação de produtos alimentícios e de bebidas (códigos iniciados em 10 e 11). Em conformidade com o capítulo 2.H.2 do EMEP/EEA *Guidebook*, os produtos cuja fabricação não envolve cozimento, fermentação, torrefação, secagem ou cura (como carnes e pescados frescos, refrigerados ou congelados, leite pasteurizado e queijos) foram considerados de emissão pouco significativa e desconsiderados.

Dessa forma, as classes ProdList que contribuíram com produtos emissores foram: a preparação de carnes e pescados (1011.2120, 1012.2100, 1012.2110, 1013.2010, 1013.2020, 1013.2030, 1013.2045, 1013.2050, 1013.2065, 1020.2012, 1020.2030, 1020.2035, 1020.2070, 1020.2090, 1020.2100); gorduras sólidas (1042.2090, 1043.2050, 1043.2060, 1043.2070, 1043.2080); alimentos à base de cereais (1061.2010, 1062.2010, 1064.2010, 1069.2010); rações (1066.2010, 1066.2045, 1066.2050); açúcar (1071.2010, 1071.2020, 1071.2030, 1071.2040, 1071.2050, 1071.2080, 1072.2010, 1072.2020, 1072.2040); café (1081.2020, 1081.2040, 1081.2050); panificação e biscoitos (1091.2010, 1091.2022, 1091.2035, 1091.2045, 1091.2050, 1091.2070, 1092.2010, 1092.2020); outros produtos alimentícios (1099.2110); e destilados, vinhos e cervejas (1111.2010, 1111.2020, 1111.2040, 1111.2060, 1111.2070, 1111.2080, 1112.2030, 1112.2040, 1112.2050, 1112.2060, 1112.2070, 1112.2080, 1113.2020, 1113.2030).

Fatores de emissão utilizados

Foram adotados os fatores de emissão *Tier 2* das tabelas de fatores por produto do capítulo 2.H.2 do EMEP/EEA *Guidebook*. O capítulo estratifica os fatores de emissão por tipo de produto. Cada código ProdList classificado como emissor foi, portanto, associado à tabela correspondente. A **Tabela T1** apresenta a compilação de fatores de emissão utilizados na estimativa das emissões deste setor.

Tabela T1. Apêndice T - Fatores de emissão utilizados para a Fabricação de alimentos, bebidas e tabaco.

Tecnologia	Poluente	Fator de emissão	Unidade
Carnes, peixes e aves	COVNM	0,3	kg/t produto
Açúcar		10,0	kg/t açúcar
Bolos, biscoitos e cereais matinais		1,0	kg/t produto
Cerveja		0,035	kg/hl cerveja
Conhaque (<i>brandy</i>)		3,5	kg/hl álcool
Maltagem de cevada		0,55	g/t cevada
Margarina e gorduras sólidas		10,0	kg/t produto
Outros destilados		0,4	kg/hl álcool
Pão (pré-fermentação)		8,0	kg/t pão
Pão (típico)		4,5	kg/t pão
Processamento de farinha de peixe		1,0	kg/t peixe
Processamento de subprodutos animais		0,33	kg/t carne
Ração animal		1,0	kg/t ração
Torrefação de café		0,55	kg/t grãos
Uísque		7,5	kg/hl álcool
Vinho		0,08	kg/hl vinho

Fonte: adaptado de EEA (2023).

Nota: hl = hectolitro (unidade de volume equivalente a 100 litros).

Tratamentos e premissas adotadas

Como a produção foi declarada em unidades heterogêneas (quilogramas, toneladas, gramas, litros, mililitros, metros cúbicos e hectolitros), aplicaram-se fatores de conversão para a unidade de referência de cada fator de emissão (massa em toneladas ou volume em hectolitros). Para as bebidas alcoólicas, cujo fator é expresso por hectolitro de álcool, os fatores de conversão foram definidos por produto, em função do teor alcoólico. As conversões entre massa e volume utilizaram a densidade do produto conforme Charrondiere; Haytowitz; Stadlmayr (2012).

APÊNDICE U

Códigos de identificação do SPECIATE utilizados na especificação química das emissões

Tabela U1. Apêndice U - Códigos de identificação do SPECIATE para MP_{2,5} e Compostos Orgânicos Voláteis utilizados na especificação química das emissões.

Sector	SNAP	Tecnologia	Combustível	Controle	Perfil_MP _{2,5}	Perfil_COV
Produção Pública de Eletricidade e Calor	010105	Grandes motores alternativos estacionários de ignição por compressão (IC)	Óleo diesel Diesel leve	—	5673	0008
Produção Pública de Eletricidade e Calor	010104	Turbinas a gás	Combustíveis gasosos	—	91020	0007
Produção Pública de Eletricidade e Calor	010105	Motores alternativos estacionários alimentados a gás	Gás natural	—	91020	1001
Produção Pública de Eletricidade e Calor	010102	Caldeiras de fundo seco	Carvão coqueificável, carvão vapor e carvão sub-betuminoso	Com controle, exceto para SO ₂	91048	1178
Produção Pública de Eletricidade e Calor	010101	Caldeiras de leito fluidizado	Carvão hulha (Carvão duro)	—	91048	1178
Produção Pública de Eletricidade e Calor	010101	Caldeiras de fundo úmido e fundo seco	Carvão marrom Lignito	—	91048	1178
Produção Pública de Eletricidade e Calor	010101	Grandes motores alternativos estacionários de ignição por compressão (IC)	Óleo diesel Diesel leve	—	5673	0008
Refino de petróleo	—	—	—	—	91145	8862

6. Apêndices

Setor	SNAP	Tecnologia	Combustível	Controle	Perfl_MP _{2,5}	Perfl_COV
Fabricação de combustíveis sólidos	0104	Forno de coque (com recuperação de subprodutos)	Carvão	—	2120310 212032.5 2120330 21203C 2620610 262062.5 2620630 26206C 2620710 262072.5 2620730 26207C 2620810 262082.5 2620830 26208C	0217
Combustão na Indústria de Ferro e Aço	030301	Usinas de sinterização	Gás de alto-forno Gás de forno de coque	—	8945 8946 8947 8948	—
Combustão na Indústria de Ferro e Aço	—	Alto-forno	Coque Gás de alto-forno Gás de forno de coque GN Óleo Gás de aciaria (BOF)	—	8945 8946 8947 8948	—
Combustão na Indústria de Metais Não-Ferrosos	030310	Alumínio secundário	Óleo Gás	—	9000910 900092.5 9000930 90009C	1036
Combustão na Indústria de Metais Não-Ferrosos	030322	Alumina	Gás Óleo	—	9000910 900092.5 9000930 90009C	—
Combustão na Indústria de Metais Não-Ferrosos	030307	Produção de chumbo secundário	Óleo Gás	—	2040310 204032.5 2040330 20403C	—
Combustão na Indústria de Metais Não-Ferrosos	030305	Produção de zinco primário	Coque Gás Óleo	—	2050110 205012.5 2050130 20501C	—
Combustão na Indústria de Metais Não-Ferrosos	030306	Produção de cobre primário	Carvão Gás Óleo	—	29202C 2920230 292022.5 2920210	—

6. Apêndices

Setor	SNAP	Tecnologia	Combustível	Controle	Perfil_MP _{2,5}	Perfil_COV
Combustão na Indústria de Minerais Não-Metálicos	030311	Fabricação de cimento	Carvão Coque de petróleo Gás Óleo Resíduos recuperados	—	91127	1185
Combustão na Indústria de Minerais Não-Metálicos	030312	Cal	Carvão Gás Óleo	—	91138	—
Combustão na Indústria de Minerais Não-Metálicos	00303	Vidro (plano, oco, especiais, filamento de fibra de vidro)	Gás Óleo	—	2710210 271022.5 2710230 27102C	—
Produção de clínquer e cimento	—	—	—	—	91004 91127	1185
Produção de cal	040614	Emissões típicas de alguns tipos de fornos de cal	—	Com controle	91138	—
Produção de vidro	030314	Produção de vidro plano	—	—	91143	—
Produção de vidro	030315	Produção de vidro oco	—	—	91143	—
Produção de vidro	030317	Filamentos contínuos de fibras de vidro	—	—	91143	—
Produção de vidro	030316	Produção de lã de vidro	—	—	91143	0003
Indústria Química - Fertilizantes fosfatados	—	—	—	—	2540810 254082.5 2540830 25408C	95325
Indústria Química - Ácido sulfúrico	—	—	—	—	91124	95325
Indústria Química - Anidrido ftálico	—	—	—	—	91124	1006
Indústria Química - Negro de fumo	—	—	—	—	91124	1002
Indústria Química - Látex SBR	—	—	—	—	91124	1008
Indústria Química - HIPS	—	—	—	—	91124	1004
Indústria Química - Estireno	—	—	—	—	91124	1066
Indústria Química - EPS	—	—	—	—	91124	1066

6. Apêndices

Setor	SNAP	Tecnologia	Combustível	Controle	Perfil_MP _{2,5}	Perfil_COV
Indústria Química - Etilbenzeno	—	—	—	—	91124	1135
Indústria Química - Polipropileno	—	—	—	—	91124	0068
Indústria Química - Ureia	—	—	—	—	91167	95325
Indústria Química - Acrilonitrila	—	—	—	—	91124	1109
Indústria Química - Formaldeído	—	—	—	—	91124	1140
Indústria Química - Oxirano	—	—	—	—	91124	1056 1057 1058
Indústria Química - Sulfato de amônio	—	—	—	—	91181	95325
Indústria Química - Borracha de EB	—	—	—	—	91124	1008
Indústria Química - Propileno	—	—	—	—	91124	8861
Indústria Química - EDC e VCM	—	—	—	—	91124	0078 1037 1038 1039
Indústria Química - Eteno	—	—	—	—	91124	2461
Indústria Química - PEBD e PELBD	—	—	—	—	91124	2547
Indústria Química - PEAD	—	—	—	—	91124	2547
Indústria Química - PVC	—	—	—	—	91124	1091
Produção de ferro e aço	040202	—	—	—	8945 8946 8947 8948	—
Produção de ferro e aço	040206	—	—	—	8945 8946 8947 8948	—

6. Apêndices

Setor	SNAP	Tecnologia	Combustível	Controle	Perfil_MP _{2,5}	Perfil_COV
Produção de ferro e aço	040209	Produção de sinter	—	—	8945 8946 8947 8948	0013
Produção de ferro e aço	040207	—	—	—	8945 8946 8947 8948	0016
Produção de ferro e aço	—	—	—	—	8945 8946 8947 8948	—
Produção de ferroligas	040302	—	—	—	900072.5 9000730 90007C	—
Produção de alumínio	030310	—	—	—	91132 91137	1202
Produção de alumínio	040301	Anodos pré-cozidos	—	—	91132 91137	1202
Produção de alumínio	040301	Anodos Soderberg	—	—	91132 91137	1202
Produção de chumbo	030307	Produção de chumbo secundário	—	Níveis atuais de controle	2040310 204032.5 2040330 20403C	—
Produção de zinco	040309	Produção de zinco primário	—	Níveis atuais de controle	2050110 205012.5 2050130 20501C	—
Produção de cobre	—	Produção de cobre primário	—	—	91158 91170	—
Indústria de veículos automotores - revestimento de carros	—	—	—	—	91129	2413
Produção de Celulose e Papel	—	—	—	—	91144	95326
Indústria alimentícia e de bebidas	040605	Reciclagem de subprodutos animais	—	—	4383	4553
Indústria alimentícia e de bebidas	040605	Bolos, biscoitos e cereais matinais	—	—	91130	1188
Indústria alimentícia e de bebidas	040606	Vinho, cor não especificada	—	—	—	1188

6. Apêndices

Setor	SNAP	Tecnologia	Combustível	Controle	Perfil_MP _{2,5}	Perfil_COV
Indústria alimentícia e de bebidas	040627	Carne, peixe e aves	—	—	4383	4553
Indústria alimentícia e de bebidas	040608	Outras bebidas destiladas	—	—	—	8778
Indústria alimentícia e de bebidas	040607	Cerveja (incluindo desalcooolizada)	—	—	—	1188
Indústria alimentícia e de bebidas	040625	Açúcar	—	—	9000310 900032.5 9000330 90003C	0000
Indústria alimentícia e de bebidas	—	Margarina e gorduras sólidas para cozinhar	—	—	—	7108 7109 7110 7160 7161 7166 7170 7177
Indústria alimentícia e de bebidas	040605	Pão, tipo comum	—	—	91130	1188
Indústria alimentícia e de bebidas	040605	Processamento de farinha de peixe	—	—	9000310 900032.5 9000330 90003C	4553
Indústria alimentícia e de bebidas	040607	Malteação de cevada	—	—	2140110 214012.5 2140130 21401C	0000
Indústria alimentícia e de bebidas	—	Torrefação de café	—	—	9000310 900032.5 9000330 90003C	0000
Indústria alimentícia e de bebidas	040605	Pão de massa fermentada (sponge-dough)	—	—	91130	1188
Indústria alimentícia e de bebidas	040608	Brandy	—	—	—	8778
Indústria alimentícia e de bebidas	040608	Whisky de grãos	—	—	—	8778
Indústria alimentícia e de bebidas	—	Ração animal	—	—	2140110 214012.5 2140130 21401C	0000

Fonte: elaborado pelo autor.

APÊNDICE V

Controle de Qualidade do Inventário de Emissões Atmosféricas de Fontes Fixas Industriais

Este apêndice documenta as rotinas de controle de qualidade aplicadas nos dados do inventário de emissões atmosféricas de fontes fixas industriais. A base analisada contém 100.841 registros, cobrindo o período de 2017 a 2023 e todos os poluentes inventariados.

O processo de controle de qualidade foi estruturado em três etapas complementares:

- Controle de qualidade espacial
- Controle de qualidade físico
- Detecção de valores extremos

Controle de qualidade espacial

O controle da qualidade espacial dos dados foi baseado na verificação da consistência geográfica das coordenadas geradas/informadas por cada fonte emissora, com base na malha municipal do IBGE.

Inicialmente, foi verificado se as coordenadas de cada registro estão contidas dentro de uma caixa delimitadora aproximada do território brasileiro (latitude entre $-34,5^{\circ}$ e $6,0^{\circ}$; longitude entre $-74,5^{\circ}$ e $-28,0^{\circ}$). Nenhum registro foi identificado fora desses limites aproximados, indicando que todas as coordenadas estão dentro do território nacional.

Registros cuja coordenada está dentro da caixa delimitadora aproximada do território do Brasil, mas fora de qualquer polígono municipal da malha do IBGE, foram classificados como possivelmente localizados em corpo d'água (oceano, baías, estuários) ou em áreas não cobertas pela malha. Esse grupo totalizou 1.232 registros (1,22%). A inspeção do setor de atividade desses registros mostrou predominância de fontes de combustão industrial situadas em complexos costeiros/portuários, compatível com imprecisão de geocodificação de plantas litorâneas, e não necessariamente com erro de localização.

6. Apêndices

Ainda nessa etapa, cada coordenada (latitude/longitude) foi espacialmente cruzada com os polígonos oficiais dos municípios brasileiros (malha do IBGE), permitindo identificar, para cada ponto, o município geograficamente correspondente, de forma independente do município autodeclarado.

A **Tabela V1** a seguir apresenta os dez estabelecimentos com maior distância entre a coordenada informada e o centroide de seu município declarado, casos que devem ser priorizados em revisão de cadastro:

Tabela V1. Apêndice V - Dez maiores distâncias entre coordenada informada e centroide municipal declarado.

Empresa	Município (declarado)	UF	Distância (km)
Empresa A	São Luís	MA	2.937,6
Empresa B	São Paulo	SP	2.686,5
Empresa C	Maceió	AL	1.947,0
Empresa D	São Carlos	SP	1.620,1
Empresa E	Rio de Janeiro	RJ	1.275,0
Empresa F	Fazenda Rio Grande	PR	1.181,6
Empresa G	Nova Friburgo	RJ	822,3
Empresa H	Heliodora	MG	724,7
Empresa I	São Paulo	SP	593,5
Empresa J	Belo Horizonte	MG	443,9

Fonte: elaborado pelo autor.

Nota-se que, em vários casos, o nome do município declarado corresponde a uma capital ou grande centro urbano distante da coordenada geográfica efetivamente informada, padrão compatível com erro de digitação de coordenadas, uso indevido do endereço da matriz/sede administrativa da empresa em vez da planta industrial, ou inversão de campos no cadastro de origem.

Controle de qualidade físico

O controle de qualidade físico consistiu na verificação da consistência numérica e lógica dos valores de emissão reportados para cada poluente.

A verificação física avaliou a consistência numérica e lógica dos valores reportados para todos os 26 poluentes inventariados. Não foram identificados valores negativos (0 registros) em nenhum dos poluentes avaliados, indicando consistência do processo de cálculo/consolidação dos fatores de emissão.

6. Apêndices

Ao todo, 63.653 registros (63,12%) possuem ao menos um valor ausente entre os poluentes avaliados. Esse resultado é esperado, pois nem todo poluente é estimado para todo tipo de processo/combustível; por exemplo, poluentes traço como PCB, HCB e HAP (BaP, BbF, BkF, IcdP) somente são calculados para processos de combustão com fatores de emissão disponíveis para essas substâncias, e amônia (NH_3) é tipicamente restrita a processos específicos de combustão e agropecuários. A ausência de valor não deve, portanto, ser interpretada isoladamente como erro, mas sim como não aplicabilidade do poluente ao processo/combustível reportado.

Foi verificada a ocorrência de valores infinitos ($\pm \text{Inf}$), que tipicamente resultam de divisão por zero em cálculos de fatores de emissão. Não foram identificados valores infinitos (0 registros) em nenhum poluente da base.

Por definição granulométrica, o material particulado fino ($\text{MP}_{2,5}$) é um subconjunto do particulado inalável (MP_{10}), que por sua vez é um subconjunto das partículas totais em suspensão (PTS); logo, deve-se sempre verificar $\text{MP}_{2,5} \leq \text{MP}_{10} \leq \text{PTS}$. Essa hierarquia foi avaliada para os 86.398 registros com os três valores simultaneamente reportados. Não foram identificadas violações (0 casos), confirmando a consistência granulométrica dos fatores de emissão de material particulado utilizados na base.

Detecção de valores extremos

A detecção de valores extremos consistiu na identificação estatística de registros com magnitude atípica em relação à distribuição geral de cada poluente, por meio do Z-score modificado (MAD).

Dado o caráter fortemente assimétrico da distribuição de emissões (grande número de fontes de pequeno porte e poucas fontes de grande porte), a identificação de valores extremos foi realizada por meio do Z-score modificado baseado no Desvio Absoluto Mediano (MAD — *Median Absolute Deviation*), aplicado sobre os valores transformados em $\log_{10}$, conforme a expressão:

$$Z = 0,6745 \cdot \frac{\log_{10}(x) - \text{mediana}(\log_{10}(x))}{\text{MAD}(\log_{10}(x))}$$

A transformação logarítmica é necessária porque a distribuição bruta dos poluentes é log-normal — nesse caso, o Z-score calculado sobre valores absolutos tende a sinalizar como "extrema" grande parte da própria distribuição (pela elevada assimetria), gerando falsos positivos em massa. Sobre a escala logarítmica, a distribuição se aproxima da normalidade, e o critério $|Z| > 3,5$ (referência usual para MAD) torna-se estatisticamente adequado para isolar valores genuinamente atípicos.

6. Apêndices

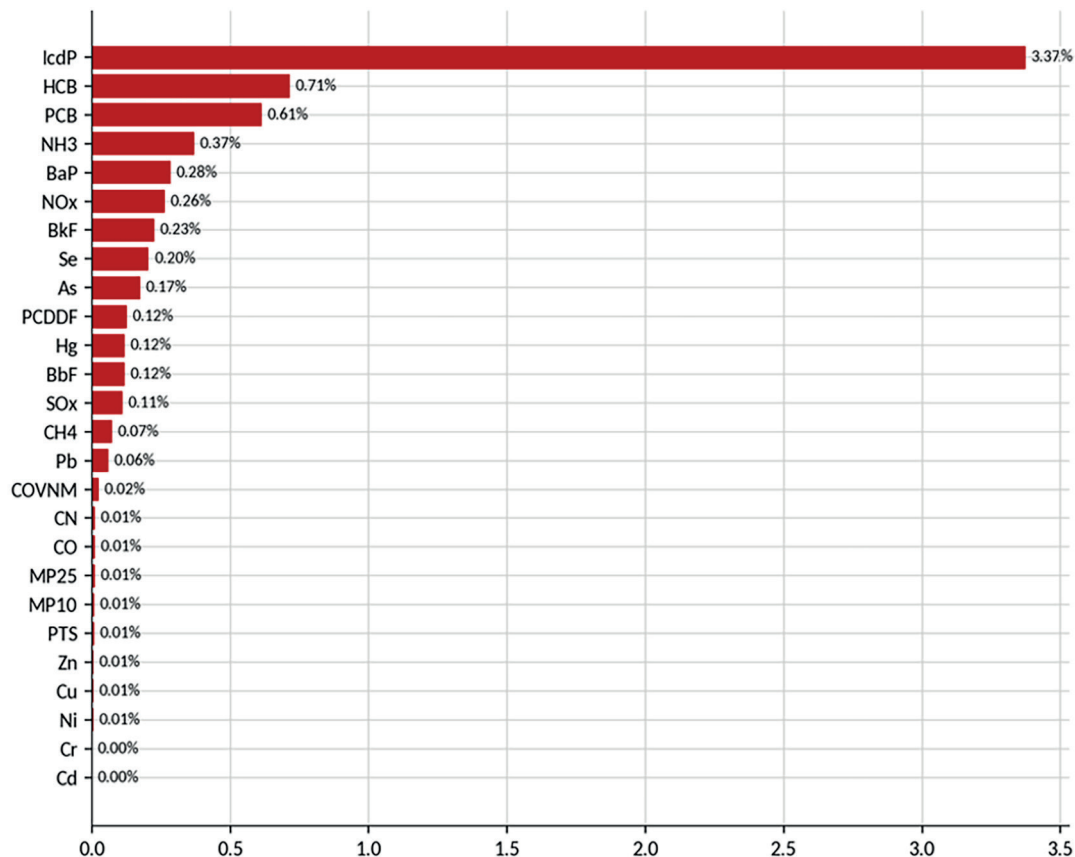
Foram sinalizadas 3.812 combinações registro-poluentes (947 CNPJs distintos, 2440 combinações único estabelecimento-ano) com $|Z| > 3,5$ em ao menos um poluente, distribuídas de forma heterogênea entre os 26 poluentes avaliados, conforme detalhado na **Tabela V2** e **Figura V1** a seguir.

Tabela V2. Apêndice V - N° e percentual de valores extremos por poluente (Z-score modificado sobre log10).

Poluente	N válido (>0)	N° extremos ($ Z > 3,5$)	% extremos
IcdP	54.966	1.854	3,37%
HCB	41.100	294	0,72%
PCB	41.886	257	0,61%
BaP	54.974	156	0,28%
NH ₃	39.801	147	0,37%
As	80.517	140	0,17%
BkF	54.966	124	0,23%
Se	66.296	136	0,21%
PCDDF	56.167	70	0,12%
Hg	80.775	96	0,12%
BbF	54.966	65	0,12%
CH ₄	78.050	56	0,07%
Pb	55.917	33	0,06%
NO _x	81.790	215	0,26%
COVNM	92.761	22	0,02%
SO _x	82.113	90	0,11%
CO	81.621	9	0,01%
MP _{2,5}	86.398	9	0,01%
MP ₁₀	86.398	7	0,01%
CN	85.773	10	0,01%
Cu	80.807	5	0,01%
Ni	80.354	4	0,00%
Zn	80.979	5	0,01%
Cr	80.874	1	0,00%
PTS	86.593	7	0,01%
Cd	80.541	0	0,00%

Fonte: elaborado pelo autor.

6. Apêndices

Figura V1. Percentual de valores extremos por poluente.

Percentual de valores extremos ($|Z-MAD| > 3,5$) sobre $\log_{10}(\text{valor})$

Fonte: elaborado pelo autor.

Em termos quantitativos, os valores considerados extremos representam um baixo percentual da massa de dados. Os maiores quantitativos foram observados nos poluentes-traço lcdP (3,37%), HCB (0,71%) e PCB (0,61%). Para estes poluentes, foram identificadas emissões com valores extremamente baixos (ordem de 10^{-15}), compatíveis com o limite inferior de detecção/estimativa do fator de emissão utilizado, e não necessariamente com erro de lançamento. Para outros poluentes convencionais, tais como PTS, $MP_{2,5}$ e MP_{10} , os valores extremos representam menos de 0,01% da massa de dados, o que demonstra a consistência da série de dados.

