



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Campus Apucarana/Londrina



ANA BEATRIZ KAWASHIMA

**DESENVOLVIMENTO DE UM INVENTÁRIO DE EMISSÕES
ATMOSFÉRICAS POR FONTES FIXAS PARA O BRASIL**

DISSERTAÇÃO

LONDRINA
2015

ANA BEATRIZ KAWASHIMA

**DESENVOLVIMENTO DE UM INVENTÁRIO DE EMISSÕES
ATMOSFÉRICAS POR FONTES FIXAS PARA O BRASIL**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental, campus Apucarana/Londrina da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Linha de Pesquisa: Poluição do Ar e Processos Atmosféricos.

Orientador: Professor Dr. Jorge Alberto Martins.

**LONDRINA
2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca UTFPR - Câmpus Londrina

K22d Kawashima, Ana Beatriz
Desenvolvimento de um inventário de emissões atmosféricas por fontes fixas para o Brasil / Ana Beatriz Kawashima. - Londrina: [s.n.], 2015.
104 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Alberto Martins.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Londrina, 2015.
Bibliografia: f. 70-76.

1. Ar - Poluição - Brasil. 2. Poluição industrial. 3. Poluentes. I. Martins, Jorge Alberto, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. III. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. IV. Título.

CDD: 628



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Pró-reitora de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Campus Apucarana/Londrina



TERMO DE APROVAÇÃO

DESENVOLVIMENTO DE UM INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS POR FONTES FIXAS PARA O BRASIL

por

Ana Beatriz Kawashima

Dissertação de mestrado apresentada no dia 11 de maio de 2015, como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Câmpus Apucarana/Londrina, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O Candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho Aprovado.

Prof. Dr. Jorge Alberto Martins
(UTFPR)

Profa. Dr^a. Maria de Fatima Andrade
(Universidade de São Paulo - USP)

Profa. Dr^a. Ana Claudia Ueda
(UTFPR)

Prof. Dr. Edson Fontes de Oliveira
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

AGRADECIMENTOS

Aos bons e maus momentos da vida e à participação de pessoas muito especiais, às quais eu sinceramente agradeço;

Primeiramente ao meu orientador, Dr. Jorge Alberto Martins, pela orientação neste projeto, pela paciência, dedicação e pela sua disponibilidade. Agradeço pela sua confiança, pelos sábios conselhos e principalmente pela sua amizade;

À professora Dr.^a Leila Droprinchinski. Martins, por ter me indicado esse precioso trabalho, por ter compartilhado seus conhecimentos, pela paciência e pelos comentários enriquecedores;

A LACTEC/PETROBRAS pelo apoio financeiro que permitiu a execução do trabalho;

À Professora Dr.^a Ana Cláudia Ueda, pela participação na banca examinadora de qualificação e contribuição dedicada a este estudo;

À empresa de papel jornal NORSKE SKOG PISA, ao seu diretor industrial Sr. Vanderlei Madruga e ao assistente executivo Cassiano Soares Lopes pelo convite de visitação a indústria e fornecimentos dos dados;

À empresa produtora de papéis KLABIN, especificamente as unidades de Angatuba, Betim, Ponta Nova, Clicheria e a seus colaboradores Ricardo Takashi Yasuda, Daniel da Silva Xavier, Antônio Carlos de Liz e Paulo Sérgio Felício pela atenção disponibilizada no contato e pelos dados fornecidos;

À empresa ARBORGEN Tecnologia Florestal e ao colaborador do setor de Engenharia Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos José Luiz F. Conti Junior pela resposta ao ofício;

À empresa CMPC Celulose Riograndense, unidade Guaíba e ao Especialista de Meio Ambiente Industrial Maurício Bandeira Pereira, pelo fornecimento dos dados;

À empresa Celulose Nipo-Brasileira-CENIBRA e ao Coordenador de Monitoramento, Pesquisa e Desenvolvimento Industrial Leandro Coelho Dalvi, pelos dados fornecidos;

À empresa MILI, unidade Maceió e ao colaborador Romualdo Matozo, pelo auxílio quando contatados;

À empresa Bignardi, unidade Jundiá, e ao Heraldo Balbuena pelos dados fornecidos;

À empresa Irani Celulose, unidade Joaçaba e ao analista ambiental Ricardo Bernasconi, pelo fornecimento dos dados;

Ao Pós Doutorando Marcos Vinícius, pelo auxílio na geração das imagens;

Ao Instituto Ambiental do Paraná-IAP, pelo fornecimento dos dados;

Ao Promotor Vilmar Fonseca, pelo auxílio na cessão e levantamento dos dados;

À professora Dr.^a Taciana Toledo de Almeida Albuquerque, pelo fornecimento dos dados;

À empresa Santa Maria e ao Jacques Gimenes, pelos dados fornecidos;

À professora Dr.^a Maria de Fátima Andrade, pelo fornecimento dos dados;

Ao professor Dr. Edson Fontes de Oliveira por ter me incentivado à pesquisa e pela amizade incondicional;

Aos pesquisadores Dr. Rodrigo Augusto Ferreira de Souza, a Dr.^a Lílian Lefol Nani Guarieiro e Dr.^a Aline Lefol Nani Guarieiro, pelo fornecimento dos dados;

Ao meu querido amigo mestrando Sameh Adib Abou Rafee, pelo apoio, auxílio e sugestões;

Ao amigo e pesquisador Me. Maurício Nonato Capucim, pela amizade, auxílio na elaboração das imagens e sugestões;

À minha amiga Melina Kaiser, pela hospitalidade, pelo apoio moral e logístico. Agradeço por permanecer nos momentos mais difíceis, pelo otimismo e principalmente pelo incentivo;

À empresa Carbocloro e ao líder de controle ambiental Luís Carlos Villar Gulin, pelo fornecimento dos dados;

À empresa Fibria, unidade Capão Bonito e ao Coordenador de Silvicultura Henrique Quero Polli, pelo apoio no levantamento dos dados;

À empresa Holcim Cantagalo e ao Alessandro Storck Figueira, pelas informações relevantes e ao fornecimento dos dados;

À amiga Dani Sanches, pelo apoio moral e pela hospitalidade e principalmente pela amizade;

À todos os meus amigos e amigas do Laboratório de Eventos Atmosféricos Extremos – EAE, em especial à Caroline Bueno, Veronika, Ana Flávia, Leda e Laís;

À minha mãe, que segue ao meu lado em todos os momentos de minha vida, me aplaudindo quando mereço e me repreendendo quando necessário, fazendo com que eu me torne uma pessoa melhor a cada dia. Certamente, sem seu apoio eu não conseguiria;

Às minhas grandes amigas Irâni e Gislaine, que não mediram esforços para me apoiar. A vocês muito obrigada!

"Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente,
mas o que melhor se adapta às mudanças"
Charles Darwin

RESUMO

KAWASHIMA, Ana Beatriz. **Desenvolvimento de um inventário de emissões atmosféricas por fontes fixas para o Brasil**. 2015. 105 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana/Londrina, 2015.

Neste trabalho foram inventariadas e espacializadas as emissões provenientes das principais fontes fixas de poluentes atmosféricos no Brasil, totalizando 16 unidades de refino, 1730 termoeletricas, 96 indústrias de cimento e 64 indústrias de papel e celulose. O inventário tem como ano-base 2011, porém os dados coletados variaram de acordo com a disponibilidade, entre 2008 e 2015. As termoeletricas inventariadas representam cerca de 28% da eletricidade produzida no país e compreendem usinas em funcionamento com os combustíveis gás natural, bagaço de cana-de-açúcar, óleo combustível, óleo diesel e carvão mineral, representando cerca de 94% da potência produzida pelo setor. Para o setor de papel e celulose foram inventariados mais de 95% da capacidade produtiva instalada. Os fatores de emissão aplicados nos cálculos tomam como base os valores limites propostos pela AP-42 da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos - USEPA, mas outros fatores de emissão identificados na literatura também foram incluídos de forma comparativa e serviram de parâmetros para avaliação da faixa de incerteza associada às emissões estimadas neste trabalho. Os resultados mostram que os totais estimados ficaram em 857 ± 415 Gg/ano para o NO_x , $1,51 \pm 1,23$ Tg/ano para o SO_x , $21,2 \pm 13,7$ Tg/ano para CO, $10,4 \pm 10,1$ Tg/ano para o MP, $1,14 \pm 0,95$ Tg/ano para TOC e $21,2 \pm 13,7$ Tg/ano para CO_2 . Comparados aos valores estimados para os veículos (MMA, 2011), os resultados mostram que o total estimado para a emissão de NO_x foi um pouco inferior às emissões por veículos (944 Gg/ano), enquanto que para o SO_x as emissões foram estimadas em mais de 300 vezes as emissões veiculares (cerca de 5 Gg/ano). As estimativas para CO ficaram em cerca de 17 vezes as emissões veiculares enquanto que o MP estimado ficou em cerca de 360 vezes as emissões por veículos e as emissões de TOC ficaram em cerca de cinco vezes as emissões estimadas para veículos. As estimativas para emissão de CO_2 ficaram em cerca de três vezes as emissões veiculares. Mesmo quando são considerados os limites inferiores nas estimativas para as fontes fixas, a contribuição ainda continua expressiva, com o NO_x sendo o único poluente que praticamente seria superado pelas emissões veiculares. Os resultados encontrados neste trabalho demonstram definitivamente que as emissões atmosféricas por fontes fixas para o Brasil têm papel fundamental na concentração de poluentes atmosféricos e devem ser integradas aos cenários de estudos de modelagem da qualidade do ar ou do impacto na saúde, bem como à definição de políticas para a área de qualidade do ar.

Palavras-chave: Inventário de emissões atmosféricas, Poluição do ar, Fontes estacionárias.

ABSTRACT

KAWASHIMA, Ana Beatriz. **Development of an atmospheric emission inventory from stationary sources in Brazil**. Londrina – PR, 2015. 105 p. Dissertation (Master degree). Environmental Engineering Master Program (PPGEA), campus Apucarana/Londrina, Federal Technological University of Parana. Londrina, 2015.

Atmospheric emissions for major stationary sources of pollutants in Brazil were inventoried and spatially distributed in this work. The developed inventory comprises a total of 16 refining units, 1730 thermoelectric power plants, 96 cement industries and 64 pulp and paper industries. The inventory is to base year 2011 but the data collected vary according to availability, between 2008 and 2015. The inventoried power plants represent about 28% of the electricity generated in Brazil, including as fuel natural gas, sugarcane bagasse, residual fuel oil, diesel oil and coal, representing about 94% of the electricity produced by the sector. For the pulp and paper industrial sector, the inventory comprises over 95% of installed capacity. The limits proposed by the AP-42 standards of the US Environmental Protection Agency – USEPA to the emission factors were applied in the calculations. Additional emission factors identified in the scientific literature were also included in the analysis as parameters for evaluation the range of uncertainty associated with the estimated emissions. The results show values of 857 ± 415 Gg/year for NO_x , $1,51 \pm 1,23$ Tg/year for SO_x , $21,2 \pm 13,7$ Tg/year for CO, $10,4 \pm 10,1$ Tg/year for MP, $1,14 \pm 0,95$ Tg/year for TOC and $21,2 \pm 13,7$ Tg/year for CO_2 . In comparison with values estimated for vehicles (MMA, 2011), the results show that the total estimated for NO_x emissions was slightly lower than emissions from vehicles (944 Gg / year), while for the SO_x the emissions were estimated to be more than 300 times vehicular emissions (about 5 Gg / year). For CO the estimated emissions were about 17 times the vehicle emissions, while for PM the estimated values were about 360 times the emissions estimated for vehicles. TOC emissions were about five times the estimated vehicle emissions. The estimated emissions for CO_2 were about three times the vehicular emissions. Even when the lower limits of the emission factors are assumed, the contribution by stationary sources are still significant, with NO_x being the only pollutant that would be overcome by vehicle emissions. The findings of this study clearly show that atmospheric emissions from stationary sources play a fundamental role in determining the concentration of air pollutants in Brazil. Any numerical scenario designed for air quality studies and to evaluate the impact on health, or even the definition of new policies related to the subject, need to include this new inventory in the scope.

Keywords: Atmospheric emissions inventory, Air Pollution, Stationary sources

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização geográfica da área de estudo, Brasil.	27
Figura 2. Empresas que enviaram dados de pelos menos uma espécie química.	35
Figura 3. Classificação dos setores industriais que serão inventariados neste estudo.	36
Figura 4. Distribuição das termoelétricas movidas a óleo diesel.	38
Figura 5. Distribuição das termoelétricas movidas a óleo combustível	42
Figura 6. Distribuição das termoelétricas movidas a carvão mineral.....	46
Figura 7. Distribuição das termoelétricas movidas a gás natural.....	50
Figura 8. Distribuição das termoelétricas movidas a bagaço de cana.....	53
Figura 9. Distribuição espacial das industrias de cimento.	56
Figura 10. Distribuição espacial das industrias de celulose e papel.....	60
Figura 11. Distribuição espacial das industrias de refino de petróleo.....	63
Figura 12. Limites inferior e superior das emissões estimadas para fontes fixas e estimativas das emissões veiculares.	68
Figura 13. Limites inferior e superior das emissões estimadas para fontes fixas e estimativas das emissões veiculares.	101
Figura 14. Emissões estimadas para NO_x (Gg/ano). Contribuição de todos os setores inventariados.....	102
Figura 15. Emissões estimadas para SO_x (Gg/ano). Contribuição de todos os setores inventariados.	102
Figura 16. Emissões estimadas para CO_x (Gg/ano). Contribuição de todos os setores inventariados	103
Figura 17. Emissões estimadas para CO_2 (Gg/ano). Contribuição de todos os setores inventariados.	103
Figura 18. Emissões estimadas para MP (Gg/ano). Contribuição de todos os setores inventariados.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Setores industriais e as atividades consideradas no inventário de emissões.....	29
Tabela 2. Fatores de emissão para óleo diesel (g/kWh).....	39
Tabela 3. Emissões totais para usinas termoeletricas a óleo diesel (Gg/ano).....	40
Tabela 4. Fatores de emissão para óleo combustível (g/kWh).	44
Tabela 5. Emissões totais para usinas termoeletricas a óleo combustível (Gg/ano).45	
Tabela 6. Fatores de emissão para carvão mineral (g/kWh).....	47
Tabela 7. Emissões totais para usinas termoeletricas a carvão mineral (Gg/ano)....	49
Tabela 8. Fatores de emissão para gás natural (g/kWh).	51
Tabela 9. Emissões totais para usinas termoeletricas a gás natural (Gg/ano).	52
Tabela 10. Fatores de emissão para bagaço de cana (g/kWh).....	54
Tabela 11. Emissões totais para usinas termoeletricas a bagaço de cana (Gg/ano).	55
Tabela 12. Fatores de emissão para indústrias de cimento (g/kg) e (g/kWh).	58
Tabela 13. Emissões totais para indústrias de cimento (Gg/ano).	58
Tabela 14. Fatores de emissão para indústrias de celulose e papel (g/kg)	61
Tabela 15. Emissões totais para indústrias de celulose e papel (Gg/ano).....	62
Tabela 16. Fatores de emissão para indústrias de refino de petróleo (g/L)	64
Tabela 17. Emissões totais para indústrias de refino de petróleo (Gg/ano).....	65
Tabela 18. Lista das indústrias de papel e celulose no Brasil, representando as coordenadas geográficas e sua produção, em gigagramas por ano.....	77
Tabela 19. Lista das refinarias do Brasil, representando as coordenadas geográficas e o petróleo refinado, em 10 ⁶ metros cúbicos por ano.	78
Tabela 20. Lista de indústrias de cimento no Brasil, representando as coordenadas geográficas e a produção, em gigagramas por ano.	79
Tabela 21. Lista de usinas termoeletricas do Brasil movidas a bagaço de cana-de-açúcar, representando as coordenadas geográficas e a potência fiscalizada, em megawatts.....	81
Tabela 22. Lista de usinas termoeletricas do Brasil movidas a gás natural, representando as coordenadas geográficas e a potência fiscalizada, em megawatts.	90

Tabela 23. Lista de usinas termelétricas do Brasil movidas a carvão mineral, representando as coordenadas geográficas e a potência fiscalizada, em megawatts.	93
Tabela 24. Lista de usinas termelétricas do Brasil movidas óleo combustível, representando as coordenadas geográficas e a potência fiscalizada, em megawatts.	94
Tabela 25. Lista de usinas termelétricas do Brasil movidas a óleo diesel, representando as coordenadas geográficas e a potência fiscalizada, em megawatts.	95
Tabela 26. Limites inferior e superior das emissões totais de poluentes por fontes fixas, em gigagramas, exceto para CO ₂ (teragramas).	100

LISTA DE SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
Ag	Prata
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional de Petróleo
AP-42	Compilação de fatores de poluentes do ar da EPA
As	Arsênio
Ba	Bário
BC	<i>Black Carbon</i> - Fuligem
BEESP	BEESP Balanço Energético do Estado de São Paulo
BIG	Banco de Informações de Geração
BRACELPA	Associação Brasileira de Celulose e Papel
Cd	Cádmio
CEPRAM	Conselho Estadual do Meio Ambiente do estado da Bahia
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CH₄	Metano
Cl	Cloro
CO	Monóxido de carbono
CO₂	Dióxido de carbono
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COV_s	Compostos orgânicos voláteis
Cr	Cromo
Cu	Cobre
DIESEL	Óleo diesel
EPA	Agência Ambiental de Proteção dos Estados Unidos
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler do Estado do Rio Grande do Sul
g	Grama (massa)
g/kcal	Grama por Quilocaloria
g/kWh	Gramas por Quilowatts-hora
g/L	Grama por Litro
Gg/ano	Gigagramas por ano
GLP	Gás liquefeito de petróleo
GNV	Gás Natural Veicular
GW	Giga Watts
h	Hora (tempo)
H₂SO₄	Ácido Sulfúrico

HC	Hidrocarboneto
HCl	Ácido Clorídrico
HCNM	Hidrocarboneto não Metânicos
Hg	Mercúrio
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEMA	Instituto Estadual de Meio Ambiente do Estado do Espírito Santo
INEIA	Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro
IPAAM	Instituto de Proteção Ambiental do Estado do Amazonas
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
K	Potássio
kg/ano	Quilowatt-hora (energia)
kWh	Quilowatt-hora (energia)
kWh/ano	Quilowatts-hora por Ano
L	Litro (volume)
m	Metro (distância)
m³	Metro cúbico (volume)
m³/ano	Metros Cúbicos por Ano
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
mg	Miligrama (massa)
MJ	Megajoule
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
Mn	Manganês
MP	Material particulado
MP	Material particulado total
MP₁₀	Material particulado grosso (10 micrometros ou menos de diâmetro)
MP_{2,5}	Material particulado fino (2,5 micrometros ou menos de diâmetro)
MW	Megawatts
N₂	Nitrogênio molecular
Na	Sódio
NH³	Amônia
Ni	Níquel
NIER	Instituto Nacional de Pesquisa Ambiental da Coreia
NMVOC	Compostos orgânicos menos o Metano
NO₂	Dióxido de nitrogênio
NO₃	Trióxido de nitrogênio
NO_x	Óxidos de nitrogênio
O₂	Gás Oxigênio
O₃	Ozônio

OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
Pb	Chumbo
PRONAR	Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar
S	Enxofre
Sb	Antimônio
Se	Selênio
SI	Sistema Isolado
SIN	Sistema Integrado Nacional
SNIC	Sindicato Nacional da Indústria do Cimento
SO₂	Dióxido de enxofre
SO₃	Trióxido de Enxofre
SO_x	Óxidos de enxofre
SVOC_s	Compostos Orgânicos Semi-Voláteis
t	Toneladas
Tg/ano	Teragramas por ano
Ti	Tálio
TOC	Compostos orgânicos totais
TOC	Compostos Orgânicos Totais
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
UTE	Usina Termoelétrica
V	Vanádio
W	Watt (potência)
Zn	Zinco
µm	Micrometro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. FUNDAMENTAÇÃO DO PROBLEMA	19
2.1 Poluentes do Ar	19
2.2 Fontes de Poluição	20
2.3 Inventários de Emissões de Poluentes Atmosféricos	21
2.4 Legislação.....	22
2.5 Inventários Atualmente Existentes.....	23
3. METODOLOGIA	26
3.1 Domínio do Inventário e Setores Inventariados	26
3.2 Processo de Coleta de Informações.....	28
3.3 Dados da Atividade.....	29
3.4 Poluentes e Fatores de Emissão.....	30
3.5 Fatores que Afetam as Emissões.....	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1 Levantamento de Dados.....	34
4.2 Usinas Termoelétricas	36
4.2.1 Usinas Termoelétricas a Óleo Diesel	37
4.2.2 Usinas Termoelétricas a Óleo Combustível	41
4.2.3 Usinas Termoelétricas a Carvão Mineral	45
4.2.4 Usinas Termoelétricas a Gás Natural.....	49
4.2.5 Usinas Termoelétricas a Bagaço de Cana	52
4.7 Indústrias de Cimento.....	55
4.8 Indústrias de Papel e Celulose	59
4.9 Indústrias de Refino de Petróleo.....	62
5. CONCLUSÃO	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
APÊNDICE – A Tabelas relacionadas aos dados de fontes fixas inventariadas.	77
APÊNDICE – B Distribuição espacial das emissões estimadas para fontes fixas.	101

1. INTRODUÇÃO

A poluição do ar sempre acompanhou as civilizações. Durante centenas de anos os seres humanos vêm realizando atividades que modificaram a composição química da atmosfera. A poluição do ar começou nos tempos pré-históricos quando o homem provocou os primeiros incêndios, mas tornou-se um problema crescente à medida que a população fora adquirindo hábitos de cozimento dos alimentos em ambientes fechados. A Revolução Industrial representa o principal marco para a degradação do meio ambiente em escala global, principalmente devido ao consumo acelerado de combustíveis fósseis. Problemas de saúde decorrentes do excesso de emissão de poluentes, principalmente em ambientes fechados, remontam a muitos séculos (Brimblecombe, 1987). De acordo com Gurjar et al. (2010) a poluição do ar é um dos principais riscos ao meio ambiente e à saúde. Estima-se que a poluição atmosférica causa cerca de dois milhões de mortes prematuras em todo o mundo por ano.

A qualidade do ar é resultado de inúmeras interações entre os diversos componentes do sistema terrestre. Segundo Wallace e Hobbs (2006) o aumento da concentração das emissões antropogênicas de várias espécies indesejáveis (poluentes do ar), em locais urbanos e industrializados, causa significativa deterioração na qualidade do ar e podem ainda representar sérias ameaças à saúde humana. Tais danos são agora claramente observados, especialmente nos países industrializados onde a utilização de combustíveis fósseis e as operações das plantas industriais são as principais fontes de poluição (TAŞDEMIROĞLU, 1992; CETESB, 2014).

A atmosfera é o destinatário de muitos dos produtos da nossa sociedade tecnológica. As emissões incluem produtos da combustão de combustíveis fósseis e não fósseis, das indústrias de transformação, das indústrias extrativistas e daquelas associadas ao desenvolvimento de novos produtos químicos sintéticos. Historicamente, essas emissões podem levar a consequências imprevistas na atmosfera (SEINFELD & PANDIS, 2006), modificando a composição química da atmosfera que compreende não apenas os seus constituintes químicos naturais, mas também o ar altamente poluído. De modo geral, os fenômenos que regem a

atmosfera natural (sem contaminação) são os mesmos que governam as reações em uma atmosfera poluída. Uma vez lançados na atmosfera, os gases podem reagir entre si formando, muitas vezes, compostos ainda mais danosos à saúde e/ou ecossistema. As inúmeras reações que os oxidantes fotoquímicos podem sofrer são um exemplo dessas transformações (SCHIRMER & LISBOA, 2009).

Uma das mais graves consequências da mudança na composição química da atmosfera é o aumento da temperatura do planeta, identificado a partir do registro contínuo de temperatura em várias partes do planeta nos últimos 150 anos. Observa-se que esse aumento vem acompanhando o processo de industrialização e de emissão de poluentes resultantes da queima de combustíveis fósseis (BARCELLOS, 2009). Segundo o IPCC (2013) há 90% de chance das mudanças de temperatura observada nos últimos 50 anos serem provenientes de atividade antrópicas, através do constante aumento de emissões de poluentes atmosféricos, principalmente o CO₂. Este aquecimento do planeta, induzido pelo aumento de emissões de gases poluentes, poderá resultar em uma mudança climática global a longo prazo (McMICHAEL, 2003).

As mudanças climáticas podem ser entendidas como qualquer mudança no clima ao longo dos anos, devido à variabilidade natural ou como resultado da atividade humana (IPCC, 2013). Para McMichael (1999) a mudança no clima reflete o impacto de processos socioeconômicos e culturais, bem como o crescimento populacional, a urbanização, a industrialização e o aumento do consumo de recursos naturais e da demanda sobre os ciclos biogeoquímicos. Marengo (2006) ressalta que, na atualidade, a atividade industrial está afetando o clima terrestre na sua variação natural, o que sugere que as emissões atribuídas à atividade humana sejam fatores determinantes na modificação do clima.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) avalia que devido a tendência de aumento da precipitação e aquecimento relacionados com a mudança climática antropogênica, dos últimos 30 anos, cerca de 150 mil pessoas anualmente são lesadas. Para Patz et al. (2005) muitas das doenças humanas mais prevalentes estão ligadas a variações climáticas, como por exemplo, a mortalidade por doenças cardiovasculares e doenças respiratórias devido a ondas de calor, a alteração de maneiras de contágio de doenças infecciosas e a desnutrição oriunda de colheitas mal sucedidas.

Tanto para a questão da qualidade do ar quanto para a mudança no clima, atualmente cresce na necessidade de ações concretas para a busca de uma melhoria na qualidade do ar ambiente, principalmente em regiões urbanas e industrializadas, onde a poluição do ar tornou-se um dos principais fatores que afetam a qualidade de vida da população. Além de prejuízos à saúde humana, podem haver sérios danos ao meio ambiente (WANG, 2010; GUARIEIRO E GUARIEIRO, 2013). Uma das ferramentas de apoio à tomada de decisão é o uso de modelos atmosféricos, tanto globais (mudança climática) como regionais e com representação dos processos químicos associados à poluição do ar (impacto na saúde). Ambas as abordagens numéricas (climática e de saúde) necessitam de informações inventariadas de emissões para alimentar as simulações dos cenários futuros. Portanto, inventariar as emissões é um passo importante no estabelecimento dessas ações.

Os inventários de emissões representam a compilação de dados e informações que possibilitam a caracterização das fontes emissoras de poluentes (EPA, 2001). Os inventários de emissões de poluentes atmosféricos de uma dada região são fundamentais para o desenvolvimento de estudos científicos sobre monitoramento e análise da qualidade do ar. Além disso, sua espacialização é fundamental para estudos envolvendo modelagem atmosférica, assim como podem prover informação de grande relevância para governantes e órgãos gestores da qualidade do ar (IPCC, 2013; EPA, 1998; EPA, 2000).

Este trabalho tem o objetivo de quantificar e georreferenciar as principais fontes fixas emissoras de poluentes atmosféricos provenientes de processos industriais do Brasil. Os cálculos levarão em conta 2011 como ano-base, mas, em função da disponibilidade, poderão incluir dados de anos próximos. Serão considerados nos cálculos fatores de emissão limites inferiores e superiores e a atividade que estiver disponível e acessível. Os poluentes que terão suas emissões quantificadas e distribuídas espacialmente são: material particulado total (MP), óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO) e compostos orgânicos voláteis (COV_s).

Em termos específicos, este trabalho pretende: identificar os setores de atividades associados a fontes fixas de emissão que mais contribuem com emissões atmosféricas para o Brasil; quantificar e qualificar as empresas selecionadas de

acordo com sua tipologia, classificando-as; identificar e quantificar os principais poluentes emitidos pelas empresas selecionadas com base em parâmetros documentados na literatura e, comparativamente, por elas fornecidos; georreferenciar as fontes de emissões; inventariar as emissões totais brasileiras por setor e tipo de poluente emitido e por fim representar espacialmente os poluentes inventariados.

Para estimar as emissões serão aplicados fatores de emissão limites publicados no documento AP-42 *“Compilation of Air Pollutant Emission Factors”* (EPA, 1999). Quando possível, serão aplicados de forma comparativa fatores de emissão encontrados na literatura ou fornecidos pelas empresas de cada setor inventariado.

Espera-se que os resultados advindos deste trabalho demonstrem de forma definitiva que as emissões atmosféricas por fontes fixas para o Brasil têm papel fundamental na determinação da concentração de poluentes atmosféricos. Espera-se ainda que os resultados sejam prontamente integrados aos cenários de estudos de modelagem da qualidade do ar ou do impacto na saúde que vierem a ser realizados no futuro.

2. FUNDAMENTAÇÃO DO PROBLEMA

Nesse capítulo será apresentada a fundamentação teórica do problema que será abordado, iniciando com a conceituação de poluentes atmosféricos e fontes de poluição. Em seguida serão definidos os inventários de emissões e aspectos relacionados às legislações que controlam a emissão de poluentes por fontes fixas. Por fim serão apresentadas as grandes iniciativas que têm sido colocadas em prática para se inventariar as emissões em outras partes do planeta.

2.1 Poluentes do Ar

Pela resolução CONAMA nº003/1990 entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar: impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem-estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora; prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e as atividades normais da comunidade. Os poluentes atmosféricos podem ser classificados como sólidos, líquidos e gasosos, de acordo com seu estado de agregação. Podem também ser classificados de acordo com a composição química, sendo inorgânicos e orgânicos.

No escopo da literatura científica, poluição do ar corresponde ao acúmulo ambiental de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos decorrentes da atividade do homem (ATKINSON, 2000). Para Carvalho Jr e Lacava (2003) o conceito de poluição atmosférica inclui atividades humanas e atividades naturais que levam à deterioração da qualidade original da atmosfera. Entretanto, para Oliveira (1997) a poluição atmosférica não é um processo recente e de inteira responsabilidade do homem, tendo a própria natureza se encarregado, durante milhares de anos, de participar ativamente deste processo com o lançamento de gases e materiais particulados originários de atividades vulcânicas e tempestades, dentre algumas fontes naturais de poluentes. A atividade antrópica, por sua vez, acaba por

intensificar a poluição do ar com o lançamento contínuo de grandes quantidades de substâncias poluentes.

Os poluentes podem ser classificados em primários e secundários (Braga et al., 2002). Os primários são aqueles lançados diretamente no ar. São exemplos desse tipo de poluente o dióxido de enxofre (SO_2), os óxidos de nitrogênio (NO_x), o monóxido de carbono (CO) e material particulado (MP), como a poeira de ressuspensão. Os secundários formam-se na atmosfera por meio de reações químicas ou fotoquímicas que ocorrem em razão da presença de certas substâncias químicas e de determinadas condições físicas. Por exemplo, SO_3 (formado pelo SO_2 e O_2) reage com o vapor de água para produzir o ácido sulfúrico (H_2SO_4), que toma parte no processo de precipitação, contribuindo para a acidificação da chuva.

2.2 Fontes de Poluição

As fontes de emissão de poluentes atmosféricos abrangem duas categorias: os naturais e as antropogênicas. Como exemplo de fontes de emissões naturais podem ser mencionadas as emissões vulcânicas, os incêndios florestais, os aerossóis dos oceanos, processos microbiológicos, entre outros. Já as fontes antropogênicas são aquelas resultantes das inúmeras atividades humanas, por exemplo: o refino de petróleo, a queima de combustíveis fósseis e não fósseis, as indústrias de transformação, as indústrias extrativistas e a ressuspensão de poeira pelos meios de transporte. A poluição do ar, por particulados finos, óxidos de enxofre e nitrogênio, monóxido de carbono e aldeídos, por exemplo, tem origem por processos de combustão no setor de transportes e nas chamadas fontes fixas, em especial aquelas associada à geração de energia.

Alternativamente, Cavalcanti (2003) classifica as fontes de poluição do ar da seguinte maneira:

Fontes Fixas: que podem ser subdivididas em dois grupos, um primeiro grupo abrangendo atividades pouco significativas nas regiões urbanas, como a queima de combustíveis em lavanderias, padarias, hotéis e outras atividades não industriais, e um segundo grupo formado de atividades bastante representativas no quesito de

variedade e intensidade de emissões de poluentes atmosféricos, os processos industriais.

Fontes Móveis: são todos os meios de transporte como, o aéreo, marítimo e terrestre que utilizam motores à combustão como força motriz.

Fontes Naturais: são os processos naturais de emissões de poluentes atmosféricos, que têm ocorrido durante milhares de anos, como por exemplo, as erupções vulcânicas, aerossóis marinhos, liberação de hidrocarbonetos pela vegetação, incêndios florestais entre outros.

Neste trabalho serão consideradas fontes antropogênicas fixas, independentemente da metodologia de classificação das fontes de poluentes atmosféricos. Vale lembrar que, em conjunto com as condições meteorológicas e características topográficas da região, tais fontes determinam a concentração dos poluentes presentes na atmosfera em uma dada localização geográfica. Portanto, a qualidade do ar de uma localidade não pode ser caracterizada unicamente pela totalidade de suas emissões. Uma vez inventariadas as fontes, a caracterização das condições de poluentes de uma região, via modelagem numérica, pode ser obtida com elevado nível de certeza.

2.3 Inventários de Emissões de Poluentes Atmosféricos

A EPA (1999) define Inventário de Emissões Atmosféricas como sendo uma listagem atualizada e abrangente das emissões atmosféricas causadas por fontes ou um grupo de fontes que estão localizadas em uma determinada área geográfica específica para um intervalo de tempo definido. Valek (2010) afirma que inventários de emissões atmosféricas são elementos básicos de construção da modelagem da qualidade do ar e dos processos de gestão da qualidade do ar. Martins (2006) enfatiza que a representação das emissões através dos inventários é deficiente, tanto para regiões metropolitanas brasileiras como em vários centros urbanos do mundo. Portanto, é evidente a necessidade de desenvolvimento de inventários de emissões, bem como a melhoria daqueles atualmente existentes.

A preparação de um inventário de emissões é um processo contínuo que envolve uma série de etapas inter-relacionadas, como a busca e compilação de

dados, vistorias em plantas industriais, envio de questionários e cálculos de emissões, devendo ser executadas com prévio planejamento em vários níveis de aplicação para a obtenção de resultados consistentes e para o bom desempenho das atividades (PIRES, 2005).

Existem duas abordagens principais que podem ser utilizadas no desenvolvimento de um inventário de emissões por fontes fixas: *top-down* e *bottom-up*. A abordagem *top-down* é tipicamente usada para inventários de fontes áreas e se aplicam a situações em que as informações não estão disponíveis ou quando os custos para reunir os dados são altos e o uso final dos dados do inventário não justifica o gasto na coleta e reunião de informações específicas. A estimativa das emissões neste tipo de abordagem está baseada em fatores nacionais ou regionais cujos parâmetros podem ser a população ou as luzes noturnas, entre outros. A abordagem *bottom-down*, requer mais recursos para coletar informações específicas, tais como: fontes de emissão, nível de atividade, fatores de emissão, entre outros. Nesta abordagem as estimativas são mais representativas e exatas do que na abordagem *top-down* pois os dados coletados não derivam de informações nacionais ou regionais (PIRES, 2005).

2.4 Legislação

A legislação brasileira, no seu estágio atual, exige controle sobre os seguintes poluentes: material particulado (MP), dióxidos de enxofre (SO_x), monóxido de carbono (CO), oxidantes fotoquímicos como o ozônio (O₃), hidrocarbonetos (HC) e óxidos de nitrogênio (NO_x). Entretanto, neste trabalho pretende-se inventariar, além dos legislados, aqueles que tem sido de interesse para estudos científicos de modelagem da qualidade do ar e modelagem climática. Abaixo estão descritas as principais resoluções de controle sobre os poluentes atmosféricos:

A Resolução n.º 003/1990 dispõe sobre padrões da qualidade do ar, previstos no Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (PRONAR), estabelecendo limites para os padrões primário e secundário, determinando também os métodos de amostragem e análise.

A Resolução n.º 008/1990 estabelece os limites máximos de emissão de poluentes do ar em fontes fixas de poluição, para partículas totais, densidade calorimétrica e dióxido de enxofre (SO₂).

A Resolução n.º 264/1999 estabelece os limites de emissões para os fornos industriais de co-processamento de resíduos.

A Resolução n.º 316/2002 determina os critérios para o licenciamento da atividade de incineração e os limites máximos de gases poluentes.

A Resolução n.º 382/2006 estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas, instaladas a partir de sua publicação sendo essa a Resolução mais específica, pois determina os limites máximos de poluentes considerando o tipo de combustível e o tipo de atividade.

Portanto, uma avaliação do histórico de resoluções acerca das emissões por fontes fixas permite concluir que a preocupação com o tema é recente e, como consequência, é de se esperar que parte significativa dos seguimentos em operação atualmente possam estar emitindo em limites muito superiores àqueles legislados.

2.5 Inventários Atualmente Existentes

De acordo com Goldemberg (1998) a indústria como um todo é responsável por aproximadamente 20% da poluição total do ar no mundo. Em estudos mais recentes na Ásia, valores entre 70% (NO_x) e 90% (SO₂) da poluição tem sido atribuído às indústrias e termoelétricas (Kurokawa, 2013). Além disso, deve-se atentar com o fato de que as plantas não são homogeneamente distribuídas, de maneira que a participação no total de poluentes emitidos em determinadas regiões pode ser significativamente superior a este valor. Esta é uma das razões que tornam o desenvolvimento de inventários uma atividade fundamental para o estabelecimento de políticas públicas de controle da poluição do ar.

Zhang et al. (2009) desenvolveu um inventário envolvendo 22 países Ásia, com destaque para as emissões ocorridas na China, o maior emissor daquele continente. Com base apenas em emissões antrópicas, são incluídos no inventário os valores para as emissões de oito espécies químicas: SO₂, NO_x, CO, NMVOC, MP₁₀, MP_{2,5}, BC, OC. Durante os últimos anos, as emissões atmosféricas da China

têm chamado atenção por terem aumentado significativamente, acompanhando o acentuado crescimento da sua economia e uso de energia. Os cálculos detalhados de emissão para o inventário 2006 INTEX-B são agregados em quatro categorias de fontes: geração de energia elétrica, industrial, residencial e transporte. As estimativas de emissão têm como referência o ano de 2006 e são parte da campanha experimental INDEX-B realizada na primavera de 2006 e, de alguma forma refletem a quantidade das emissões durante esse período para aquele país. No entanto, quando a construção do inventário ocorreu em 2006 e 2007, a maioria das estatísticas necessárias para os demais países asiáticos estava apenas disponível para os anos 2004 e 2005 e poucos dados para o ano de 2006. Assim, para os demais países asiáticos o inventário foi construído com base em extrapolações a partir de informações para os anos 2004 e 2005.

Os valores estimados para a Ásia (China) por Zhang et al. (2009) foram: 47,1 (31,0) Tg de SO₂, 36,7 (20,8) Tg de NO_x, 298,2 (166,9) Tg de CO, 54,6 (23,2) Tg de NMVOC, 29,2 (18,2) Tg de MP₁₀, 22,2 (13,3) Tg de MP_{2.5}, 2,97 (1,8) Tg de BC, e 6,57 (3,2) Tg de OC. Os autores enfatizam que a China é a maior emissora de poluentes da Ásia e que o aumento acentuado em suas emissões a partir de 2000 é preocupante. Os autores também estimaram as emissões antrópicas da China para o ano de 2001, utilizando a mesma metodologia e concluíram que todas as espécies mostraram tendência crescente no período 2001-2006: 36% de aumento para o SO₂, 55% de NO_x, 18% de CO, 29% de VOC, 13% para MP₁₀, e 14% para MP_{2.5}, BC e OC.

Embora a Ásia esteja no foco da atenção no momento, existem vários inventários globais, regionais e locais. Por exemplo, D'Angiola et al. (2010) apresenta um inventário de emissões veiculares para a região metropolitana de Buenos Aires, apenas considerando gases do efeito estufa, com base no ano de 2006. Foram utilizados fatores de emissão obtidos em campanhas realizadas na Argentina, no Brasil, no Chile e na Colômbia e compilados em uma base representativa da frota e das condições de tráfego na América Latina. Os autores observaram que as emissões por unidade de área na cidade são cerca de 2 a 4 ordens de grandeza maior do que aquelas obtidas em média no país.

Butler et al. (2008) examinou a representatividade das emissões de megacidades nos principais inventários de emissões existentes no mundo. Foi

observado que para países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD), as emissões das megacidades são dominadas pelo setor de transporte, principalmente CO e em menor contribuição para NOx. Em países não pertencentes à OECD, especialmente países da Ásia, a emissão de CO é dominada pelo uso residencial de biocombustível, enquanto que NOx predomina nas emissões industriais. Os autores concluíram também que, apesar das semelhanças nas bases de dados usadas e nas metodologias, existem grandes diferenças individuais para as megacidades.

Gallardo et al. (2012) chama a atenção para a qualidade dos fatores de emissão utilizados em inventários. Os autores avaliaram, com base nos picos de CO e NOx registrados no período matutino, as estimativas de emissão em uso para as cidades de Bogotá, Buenos Aires e Santiago. Os autores observaram que a razão molar de CO para NOx diminuiu nos últimos 10 a 15 anos e concluíram que as emissões de NOx atualmente estimadas superestimam os valores reais em um fator de até 3 vezes para Santiago e São Paulo e em 20% para Buenos Aires. No caso do CO suspeita-se que as emissões inventariadas para Bogotá estão superestimadas.

Diferenças como as analisadas nos trabalhos analisados nos parágrafos anteriores só são percebidas quando inventários com foco mais regional e local são desenvolvidos. É no contexto da regionalização que se pode avaliar com mais clareza a adequação ou não de determinado fator de emissão ou de determinada condição de atividade atribuída a uma dada fonte. Iniciativas nesse sentido já têm sido levadas adiante, por exemplo em Alonso et al. (2010). Neste caso os autores desenvolveram um inventário para emissões veiculares em áreas urbanas da América do Sul, tomando como base inventários locais existentes para as principais cidades do continente.

3. METODOLOGIA

Serão apresentadas neste capítulo as características da área de estudo e seus dados de maior relevância. Na sequência serão apresentadas as questões relacionadas ao tipo de fontes emissoras que abrangem este inventário e o procedimento de escolha dos setores industriais inventariados. Em seguida apresenta-se a descrição das atividades, poluentes inventariados e base de referência para os fatores de emissão assumidos nos cálculos.

3.1 Domínio do Inventário e Setores Inventariados

O domínio do inventário é o Brasil, maior país da América Latina (figura 1). A área de superfície territorial corresponde a 8.515.767,049 km² (IBGE, 2014). A população total do Brasil, segundo a projeção do Banco Mundial, é de 200,4 milhões de habitantes em 2015, cerca de 50% da população da América do Sul. O Brasil possui um litoral extenso, com aproximadamente 7.367 km, onde se concentra a maioria das capitais dos estados. É também nesta faixa litorânea onde estão localizadas as principais fontes inventariadas neste trabalho. O inventário tem como ano-base 2011, porém os dados coletados variaram de acordo com a disponibilidade, entre 2008 e 2015.

A seleção dos principais setores industriais que fizeram parte do inventário de poluentes foi feita com base em Goldemberg (1998), que relaciona os setores industriais mais intensivos energeticamente, ou seja, com maior consumo de energia por unidade de produto. Os setores são: indústria de refino de petróleo, usinas termoelétricas, indústrias de cimento Portland e indústrias de papel e celulose.

Algumas considerações devem ser feitas na representação das emissões provenientes dos setores escolhidos e serão discutidas na sequência.

As indústrias de refino de Petróleo compreendem o processamento do petróleo em diferentes subprodutos, tais como gasolina, óleo diesel, gás de cozinha, querosene, lubrificantes, óleos e graxas. De acordo com a ANP existem atualmente

16 unidades de refinarias localizadas no território brasileiro sendo elas de domínio da Petrobrás ou privadas

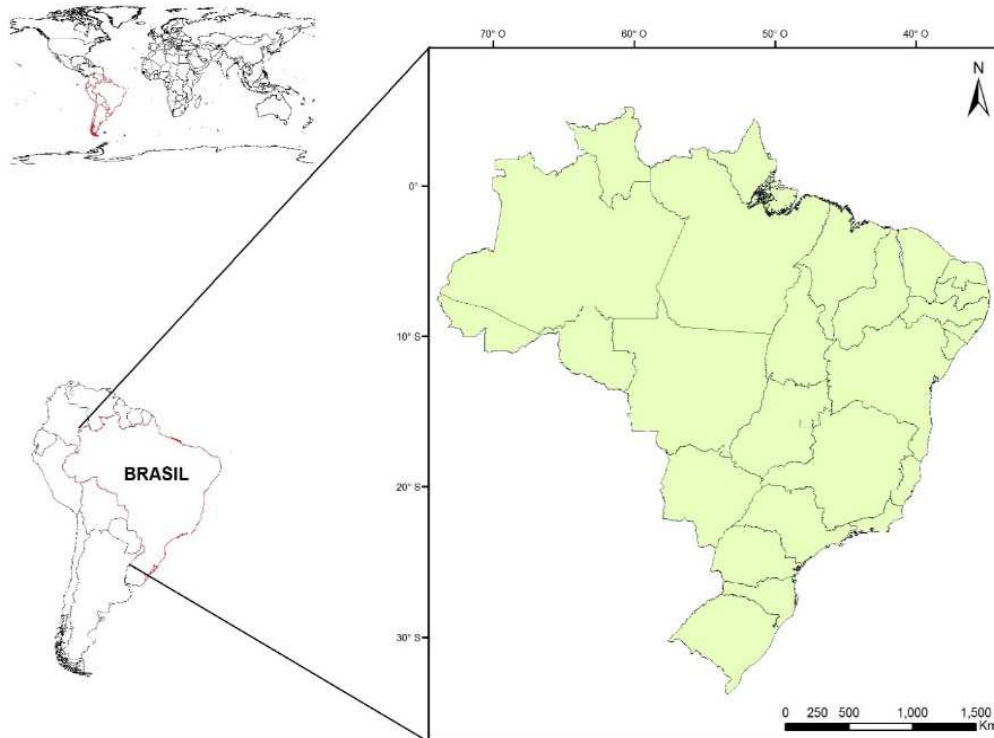


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo, Brasil.

As usinas termoelétricas inventariadas foram divididas em subclasse. Setores cujas instalações atendem a processos de combustão para geração de vapor e cogeração de energia podem queimar bagaço de cana-de-açúcar, óleo diesel, óleo combustível, carvão mineral e gás natural. De acordo com a ANEEL, existem atualmente em operação 1730 unidades de usinas termelétricas (ano 2014). Devido a sua baixa potência, não foram consideradas as usinas termoelétricas que utilizam os seguintes combustíveis: óleo ultraviscoso, resíduos de madeira, óleo de palmiste, licor negro, gás siderúrgico, gás de refinaria, gás de processo, gás de alto forno, enxofre, efluente gasoso, casca de arroz, capim elefante e biogás.

A indústria de cimento que compreende quatro linhas de produtos (cimento, concreto, agregados e outros produtos complementares) foram incluídas neste inventário. Somam ao todo 96 unidades fabricantes de cimento *Portland*, de acordo com dados da Associação Brasileira de Cimento *Portland* (ABCP).

O setor da indústria de papel e celulose que contribui positivamente para o desenvolvimento do país, sendo o Brasil o sétimo produtor mundial de celulose, o décimo-primeiro produtor de papel e, também, um dos quinze maiores mercados consumidores. Isso se deve ao fato do Brasil ter uma tecnologia avançada no plantio e uma imensa área de floresta com alto potencial de exploração econômica. As unidades desse setor totalizam 64 unidades industriais de acordo com Associação Brasileira de Celulose e Papel.

Considerando a complexidade associada aos produtos e subprodutos fabricados pelas indústrias químicas, bem como a ausência de um banco de dados consolidado, tais indústrias não serão inventariadas. Neste inventário não serão tratados os seguintes setores: indústrias químicas - empresas de pequeno, médio e grande portes fabricantes de produtos químicos e de fertilizantes; mineração e metalurgia - indústrias de extração mineral e transformação do minério em diversos produtos.

3.2 Processo de Coleta de Informações

Primeiramente foram realizados contatos com as indústrias emissoras através de correspondência. Foram enviados requerimentos para cessão de dados para as empresas dos setores industriais selecionados e identificados na Figura 2. O ofício solicitando os dados referentes às emissões atmosféricas das unidades industriais continham os seguintes itens: tipos de poluentes emitidos que a empresa tem controle, informações da fonte emissora, tais como o diâmetro do duto ou chaminé, vazão de lançamento, temperatura do lançamento e a altura da chaminé.

Foram contatados também os seguintes órgãos ambientais: Instituto Ambiental do Paraná - IAP, Conselho Estadual do Meio Ambiente do estado da Bahia – CEPRAM, Fundação Estadual do Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais – FEAM, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler do Estado do Rio Grande do Sul – FEPAM, Instituto Estadual de Meio Ambiente do Estado do Espírito Santo – IEMA, Instituto de Proteção Ambiental do Estado do Amazonas - IPAAM e Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro –

INEA). Além de contato direto, solicitando dados pessoais para o envio de correspondência.

Os dados fornecidos pelas indústrias, órgãos ambientais e contato direto foram organizados em um banco de dados e padronizados por tipo de fonte, classe de composto químico emitido, potência, quantidade de combustível processado e a localização das fontes. As localizações das unidades industriais de todos os setores inventariados neste estudo foram obtidas através de coordenadas geográficas (latitude e longitude) utilizando o software Google Earth, totalizando cerca de 1906 pontos.

É importante destacar que durante a fase de levantamento de dados, foram encontradas muitas dificuldades, na obtenção dos mesmos, devido à inexistência ou à precariedade de dados e muitas vezes, a recusa no fornecimento dos mesmos, pelas instituições públicas e privadas. Os dados de determinadas atividades para determinado ano base serão extrapolados

3.3 Dados da Atividade

A atividade de cada indústria é uma medida de seu potencial poluidor que foi assimilada em função da informação disponível. Na tabela 1 estão apresentadas as atividades consideradas neste inventário, que correspondem a parâmetros do processo industrial associados à emissão de poluentes.

Tabela 1. Setores industriais e as atividades consideradas no inventário de emissões.

Setor Industrial	Atividade	Unidade	Fonte
Refinarias de Petróleo	Volume de Petróleo Refinado	(m ³ /ano)	ANP
Indústrias de Papel e Celulose	Capacidade Produtiva	(kg/ano)	Sites Institucionais
Indústrias de Cimento <i>Portland</i>	Capacidade Produtiva	(kg/ano)	Sites Institucionais
Usinas Termoelétricas Gás Natural	Potência Fiscalizada	(kWh/ano)	ANEEL
Usinas Termoelétricas a Óleo Diesel	Potência Fiscalizada	(kWh/ano)	ANEEL
Usinas Termoelétricas a Carvão Mineral	Potência Fiscalizada	(kWh/ano)	ANEEL

Usinas Termoelétricas Óleo Combustível	Potência Fiscalizada	(kWh/ano)	ANEEL
Usinas Termoelétricas a Bagaço de Cana	Potência Fiscalizada	(kWh/ano)	ANEEL

As atividades podem ser representadas por: quantidade de petróleo refinado, quantidade de um determinado produto, quantidade de energia consumida ou produzida. A atividade se refere a um dado período de tempo de referência, em geral um ano. Para as atividades de queima de combustíveis, em geral a taxa de atividade é uma medida anual do consumo de combustível, mas pode ser convertida para a unidade de conveniência do usuário do inventário a ser desenvolvido.

3.4 Poluentes e Fatores de Emissão

Os poluentes incluídos neste inventário de emissões são: material particulado total (MP), óxido de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂) e compostos orgânicos totais (TOC). Para a estimativa de emissões da queima de combustíveis é recomendável o uso de fatores de emissão nacionais. Contudo, dada a não obrigatoriedade do setor produtivo em disponibilizar publicamente suas emissões atmosféricas, neste estudo, as emissões serão estimadas com base nas faixas limites de fatores de emissão publicadas no documento AP-42 *“Compilation of Air Pollutant Emission Factors”* (EPA, 1999), ou aqueles fornecidos pelas empresas de cada setor inventariado, ou ainda obtidos na literatura, como forma de comparação.

Segundo Myers (1995) os fatores de emissão da AP-42 oferecem uma alternativa para estimativas. Porém, tratam-se de valores médios, sem as variantes inerentes aos processos. Em geral, os fatores de emissão AP-42 estão em unidades de massa de substância emitida por volume de combustível queimado (PHILLIPS, 1995). Lucon (2003) enfatiza que apesar do uso mundialmente difundido dos fatores de emissão da AP-42, há significativas diferenças entre processos e insumos que variam de país para país, ou mesmo de região para região. No entanto, os fatores de emissão preconizados pela AP-42 foram obtidos a partir de testes de fontes de emissão para as quais se destinam tais fatores. Assim, constituem-se em uma forma simples, barata e rápida de avaliar e agrupar as emissões e, por esta razão,

passaram a ter uso contínuo e disseminado em grande escala. Os valores limites assumidos para os fatores de emissão da AP-42 e que foram aplicados nos cálculos serão discutidos nos resultados das estimativas.

As emissões por uma fonte fixa vão depender da atividade da mesma e do fator de emissão associado a cada poluente. Em geral é possível ajustar as unidades de atividade e de fator de emissão quando há inconsistência entre elas. Assim, as emissões podem ser estimadas com base na seguinte equação simplificada (EPA, 1999),

$$E_{ijkt} = FE_k \times A_{ijkt} \quad (1.1)$$

em que, E_{ijkt} representa o total de poluente k, emitido pela indústria localizada na posição (i,j), durante certo intervalo de tempo t (em geral um ano), enquanto que FE_k e A_{ijkt} representam, respectivamente, o fator de emissão do poluente k e a atividade da indústria localizada na posição (i,j) para o poluente k durante o intervalo de tempo t.

O fator de emissão fornece as emissões por unidade de atividade. Por exemplo, o fator de emissão para a queima de óleo combustível em caldeiras (g/m^3) é dado pela massa de NO_x (em gramas) emitido por volume (em metros cúbicos) de óleo combustível queimado. Alternativamente, é possível fazer uso do poder calorífico do combustível e expressar o fator de emissão pela massa de NO_x emitido por quantidade de energia produzida (g/kWh). Portanto, um fator de emissão estabelece uma relação simples entre a quantidade de poluente emitida e um parâmetro conhecido do processo como, por exemplo, a quantidade de combustível queimado ou a energia extraída durante a queima.

O levantamento da localização das plantas de produção, sua atividade e os fatores de emissão são informações necessárias para a elaboração do inventário em si. Embora a informação na forma de tabelas com o total emitido em cada ponto possa ser suficiente, para uma análise prévia da relevância do poluente em uma dada região, é conveniente que as emissões sejam distribuídas espacialmente.

Portanto, após o cálculo das estimativas das emissões foi realizada a distribuição espacial dessas emissões.

3.5 Fatores que Afetam as Emissões

Os óxidos de nitrogênio são formados principalmente pelo mecanismo de dissociação térmica dos gases nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2) presentes no ar e subsequente reação das moléculas monoatômicas dissociadas. Temperaturas elevadas são necessárias neste caso. Já os hidrocarbonetos (HC), que compreendem uma ampla variedade de compostos orgânicos, são resultados da queima incompleta dos combustíveis. A queima incompleta pode ser resultado da mistura inadequada do combustível com o ar ou razão incorreta dessa mistura dentro da câmara de combustão. Pode ser decorrente do mau funcionamento no sistema de injeção, com gotículas em excesso de tamanho, o que compromete o processo de queima. Pode ainda ser resultado do resfriamento excessivo das paredes da câmara ou resfriamento prematuro durante a fase de expansão (tempo insuficiente para a queima).

O monóxido de carbono (CO) ocorre quando a reação de CO com CO_2 não se completa, principalmente pela deficiência de oxigênio próximo às moléculas de hidrocarbonetos durante a combustão. Embora haja um limite cinético para a taxa de oxidação, temperatura baixa e tempo de residência muito curto acabam por influenciar na quantidade de CO liberada.

O material particulado (MP) pode ser composto de pequenas gotículas do próprio combustível e ter origem na queima incompleta nas camadas adjacentes às paredes da câmara de combustão, onde a temperatura não é suficientemente alta para que a queima ocorra (fumaça branca). Também pode ser resultado da queima parcial de lubrificantes que escapam para dentro da câmara de combustão através dos anéis de vedação (fumaça azulada). Por fim, aglomerados de diversas partículas de carbono, oriundos da queima incompleta do combustível, acabam formando a fumaça mais escura, ou fuligem. A manutenção está diretamente associada aos fatores de emissão no caso do MP.

Outro poluente sempre presente na queima de combustível, principalmente o diesel, é o SO_2 . Em geral o enxofre presente no diesel é oxidado a SO_2 durante o processo de combustão. Por sua vez o SO_2 pode ir a SO_3 e, em contato com a umidade atmosférica, pode se transformar em ácido sulfúrico e contribuir significativamente na concentração de material particulado. Portanto, a emissão de enxofre tem papel fundamental nos processos químicos representados pelos atuais modelos atmosféricos voltados ao estudo da poluição do ar. A combustão de óleos mais pesados pode resultar na produção de mais partículas do que a combustão dos demais combustíveis, embora isso não se observe nos fatores de emissão encontrados na literatura.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados do inventário de emissões, com os dados sendo inicialmente agrupados pelas contribuições dos setores industriais para cada poluente. Em seguida, serão discutidos os totais emitidos para cada poluente comparando-os às emissões de outros setores inventariados ou mesmo oriundos de outras metodologias. Dada a margem de incerteza associada aos componentes do cálculo final dos totais, procurou-se identificar limites inferior e superior para os totais emitidos, sendo esta uma tendência já evidenciada quando as aplicações deste produto se destinam a estudos de modelagem. Como referencial procurou-se comparar os resultados parciais (por setor) às emissões de poluentes por veículos movidos à gasolina C, etanol hidratado, diesel e gás natural veicular, que tem sido as fontes mais comumente inventariadas em estudos de modelagem da qualidade do ar em regiões urbanas. No final da discussão, estende-se aos resultados de inventários desenvolvidos em outros países. Os fatores de emissão aplicados nos cálculos terão como base sempre os valores da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos - USEPA, AP-42 (EPA, 1995), disponível em www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html, principalmente pelo fato de haver sempre a possibilidade de obtenção de valores limites inferiores e superiores. Comparativamente também serão realizados cálculos com fatores alternativos obtidos da literatura, diretamente do emissor ou de outras agências ambientais.

4.1 Levantamento de Dados

Em 2013 foram contatadas 283 empresas, distribuídas da seguinte maneira: Papel e celulose: 151 empresas (3,5% enviaram dados); Mineradoras: 10 empresas (sem resposta); Cimenteiras: 109 empresas (0,3% enviaram dados); Usinas de Cooperativas de Cereais: 13 empresas (sem resposta) (figura 2). O total de empresas contatadas que enviaram dados de pelo menos um poluente atmosférico está apresentado na figura 2. Deve ser considerado que as indústrias de cimento contribuem com cerca de 5 a 7% de emissões atmosféricas antrópicas globais

(WORREL et al., 2001; CHEN et al., 2010). Isso faz com que a indústria de cimento seja um setor representativo nas emissões de poluentes atmosféricos, ao lado dos setores que consomem combustíveis fósseis. Em relação ao setor de papel e celulose, segundo NIER (2005), (National Institute of Environmental Research of Korea) o setor consiste em uma significativa fonte de emissões de poluentes, oriundos de processos industriais e geração de energia, visto que as indústrias costumam queimar resíduos do processo para a geração de parte da energia que consomem.

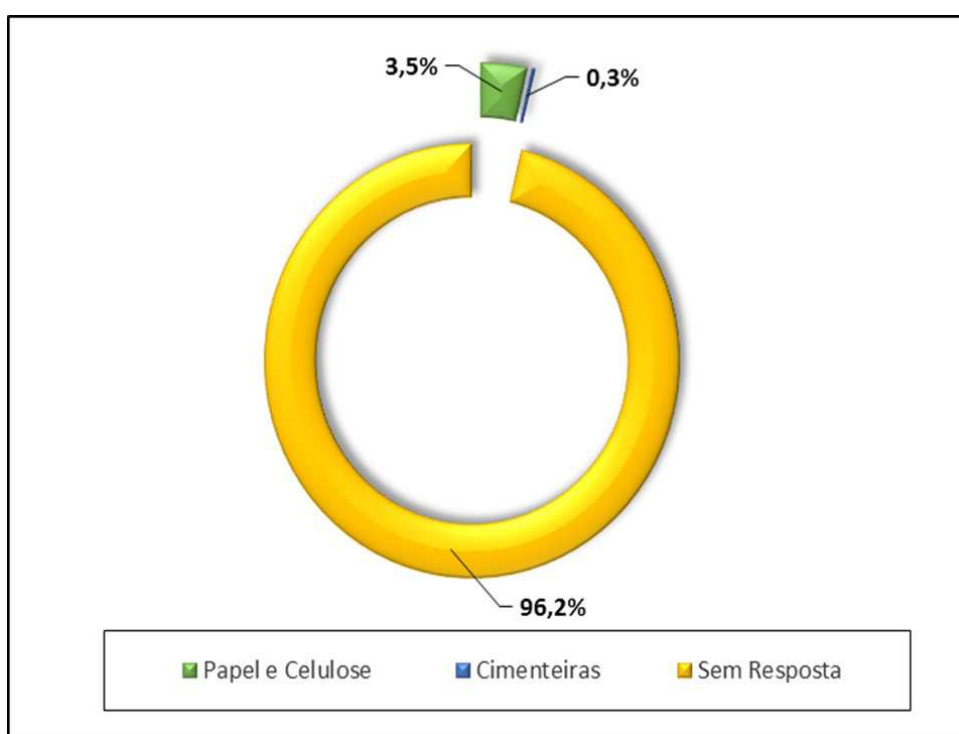


Figura 2. Empresas que enviaram dados de pelos menos uma espécie química.

Os órgãos ambientais solicitados que enviaram dados foram: Instituto Estadual de Meio Ambiente do Estado do Espírito Santo – IEMA, Instituto de Proteção Ambiental do Estado do Amazonas - IPAAM e Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro – INEA. Alguns setores possuem elevado nível de organização de suas informações e disponibilizam publicamente dados que foram utilizados neste trabalho, por exemplo, a Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELPA), a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e setores governamentais como a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Agência Nacional de Petróleo (ANP) e Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

Com o resultado das consultas e o acesso direto a banco de dados públicos, foi possível consolidar a estrutura mostrada na figura 3, que representam aqueles setores industriais cujas emissões foram estimadas neste estudo, bem como o número de unidades industriais e suas respectivas fontes de informação, totalizando 16 unidades de refino, 1730 termelétricas, 96 indústrias de cimento e 64 de papel e celulose.

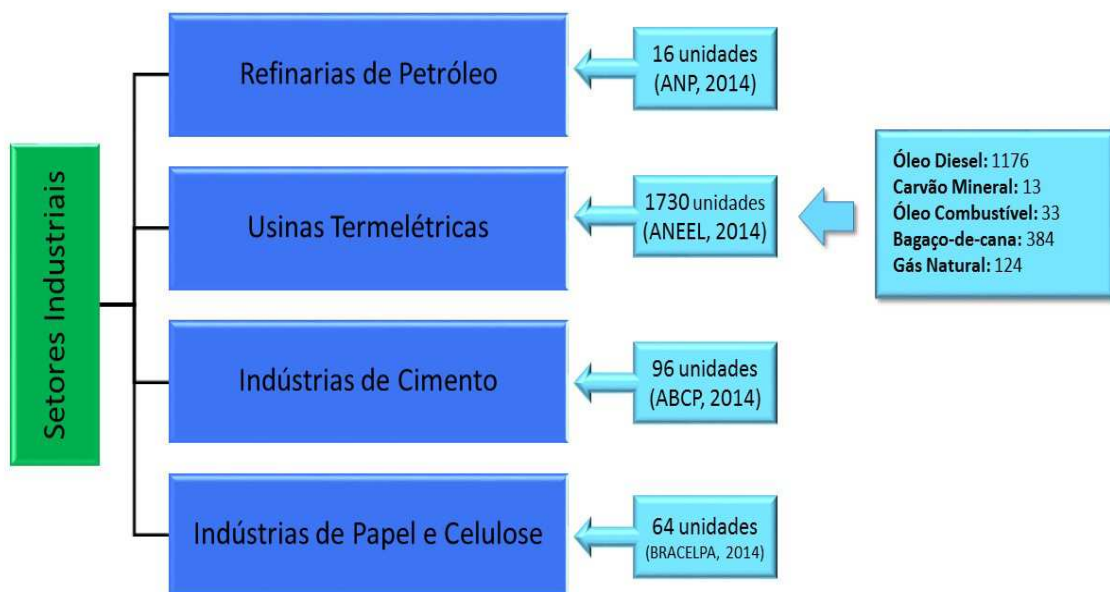


Figura 3. Classificação dos setores industriais inventariados neste estudo.

4.2 Usinas Termelétricas

Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (<http://www.aneel.gov.br>), as usinas termelétricas (UTE) representam em 2015 mais de 28% (37.97 GW) da potência fiscalizada no Brasil, ou seja, a potência que é efetivamente comercializada pela UTE para geração de eletricidade. São 1896 centrais em operação e 154 novas centrais em construção ou com início das obras já autorizado e que somarão mais 7 GW ao sistema. Gás natural, bagaço de cana-de-açúcar, óleo combustível, diesel e carvão mineral correspondem aos

combustíveis das centrais inventariadas e representam 94% da energia produzida por termoelétricas.

As UTE instaladas no Brasil são de diversos portes, tecnologia e combustível. Essa diversidade de parâmetros que rege as UTE brasileiras é devido a inúmeras características como, a finalidade do produto gerado, quantidade de demanda, disponibilidade e valor do combustível na região da usina. Os dados de atividade utilizados neste trabalho fazem parte do Banco de Informações de Geração – BIG da ANEEL e correspondem à potência fiscalizada.

4.2.1 Usinas Termoelétricas a Óleo Diesel

As termoelétricas a diesel respondem por 3,6 GW, cerca de 9% da energia produzida pelas UTE. Entretanto, conforme pode ser observado na Figura 4, estão relativamente bem distribuídas por todo o território nacional, mas com predominância nos estados de São Paulo e Minas Gerais e região amazônica, principalmente ao longo dos rios Negro e Amazonas. No caso de São Paulo observa-se grande aglomeração de usinas na região metropolitana da capital e no eixo em direção a Campinas.

A presença de termoelétricas na região amazônica deve ser tratada com atenção, dada a particularidade das condições atmosféricas limpas daquela região, cuja composição química é essencialmente determinada pela emissão de compostos pela vegetação. As regiões Centro-Oeste e Nordeste apresentam menor número de UTE quando comparadas às demais regiões. Segundo ANEEL (2006), as usinas abastecidas por óleo diesel estão instaladas principalmente na região Norte para atender os Sistemas Isolados – que ainda não são conectados ao Sistema Interligado Nacional (SIN), rede composta por linhas de transmissão e usinas que operam de forma integrada e que abrange a maior parte do território brasileiro.

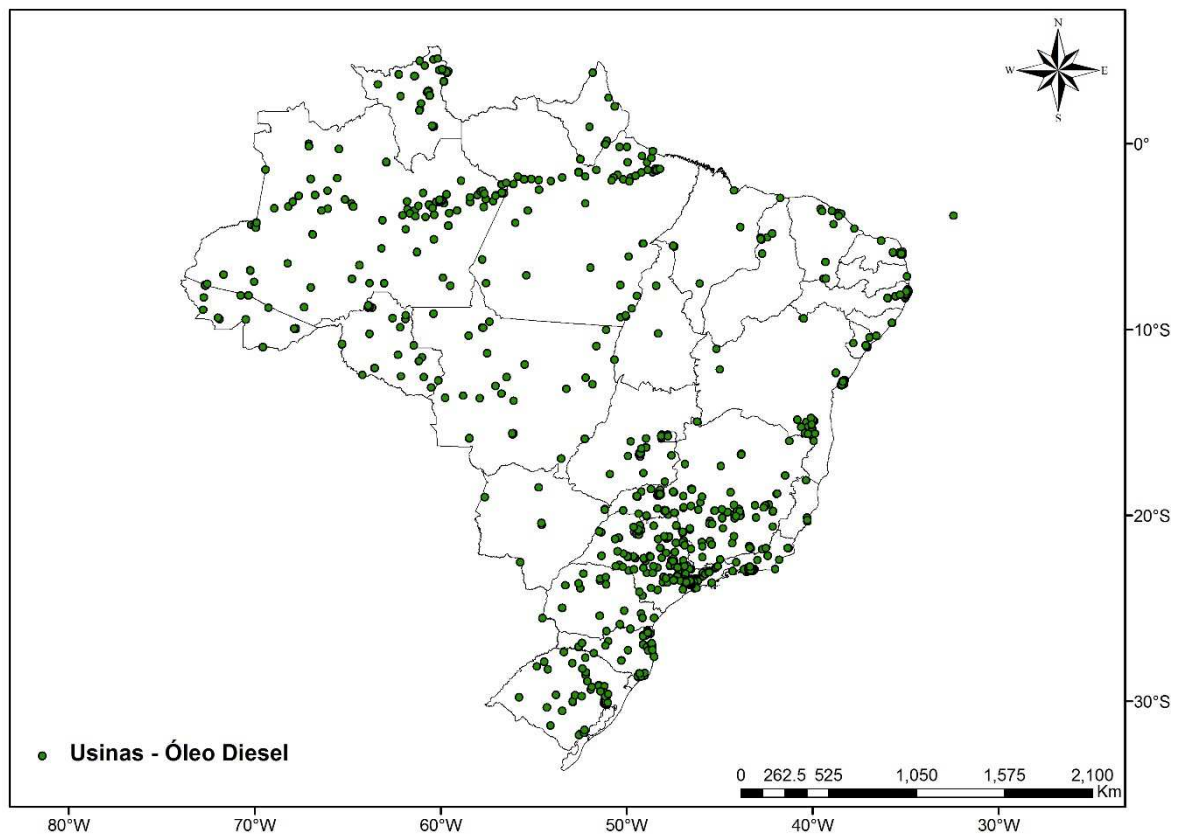


Figura 4. Distribuição das termoelétricas movidas a óleo diesel.

Os principais poluentes associados à queima de óleo diesel nas termoelétricas são o CO_2 , os óxidos de nitrogênio (NO_x) e enxofre (SO_x), monóxido de carbono (CO), material particulado (MP) e hidrocarbonetos (HC). Enquanto que poluentes como o CO, HC e MP são resultados principalmente da queima incompleta do diesel, o NO_x está diretamente associado às elevadas taxas de compressão e temperatura no interior da câmara de combustão (EPA, 1995). A emissão de óxidos de enxofre (SO_x) é função principalmente do conteúdo de enxofre e menos dependente da tecnologia empregada ou das variáveis de combustão.

Os fatores de emissão assumidos neste trabalho são aqueles definidos pela AP-42 (EPA, 1995) e estão listados na Tabela 2, convertidos para g/kWh (grama de poluente por quilowatt-hora de energia produzida). Os fatores de emissão recomendados pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, ligada à Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (CETESB, 1999) foram listados na mesma tabela para efeito de comparação.

Dada a diversidade de condições operacionais e metodológicas, bem como diferentes tecnologias empregadas no processo de queima, durante a obtenção de

fatores de emissão, foram assumidos dois valores limites para cada poluente. No limite inferior foi considerado o fator de emissão adequado ao cenário mais otimista de queima do combustível, enquanto que no limite superior foi assumido o cenário mais pessimista. O limite inferior para a emissão de NO_x é obtido com base em motores funcionando sob controle de emissão desses gases (EPA, 1995). Neste caso específico o valor é obtido a partir de um processo de retardamento na injeção de combustível, o que garante que a explosão ocorra dentro de um volume maior da câmara de combustão. Como consequência, tanto a temperatura quanto a pressão atingem picos menores, reduzindo assim a formação de NO_x (Snyder, 1993). O limite superior é obtido sem qualquer tipo de controle e com base na média de consumo dos modelos disponíveis pelos fabricantes, considerando a quantidade de combustível que entra no processo de combustão e seu poder calorífico.

Tabela 2. Fatores de emissão para óleo diesel (g/kWh).

Poluentes	EPA, 1998 (g/kWh)		CETESB, 1999 (g/kWh)
	Limite Inferior	Limite Superior	
NO_x	2,95	14,60	0,67
SO_x	1,57	4,92	4,81
CO	1,32	3,35	-
MP	0,16	0,43	0,067
TOC	0,14	0,43	0,0084
CO_2	255,75	705,59	742,55

Para os fatores de emissão de SO_x assume-se que todo o conteúdo de enxofre do diesel é convertido a SO_2 . Neste estudo foi assumido um conteúdo médio de 1%. Para o CO_2 é considerado 100% de conversão do carbono presente no diesel, que no caso representa 70% da massa de diesel.

O poder calorífico assumido para o diesel foi de 44,8 MJ/kg. Para os fatores de emissão dos hidrocarbonetos assume que 9% da massa são emitidos na forma de metano e 91% como hidrocarbonetos não-metânicos (HCNM).

Os fatores de emissão oriundos da CETESB (CETESB, 1999) são obtidos considerando queima em caldeira, de acordo com a Resolução nº 33 da ANP e caldeira do tipo a vapor de (produção máxima de 50 t h⁻¹ de vapor). Além dos cenários limites descritos anteriormente, um cenário adicional, com base nos fatores de emissão da CETESB foi assumido para as termoeletricas com potência acima de 50 MW.

Em geral, motores a diesel abaixo de 50 MW apresentam eficiência que passa dos 40% e pode chegar a 60% quando há recuperação dos gases de exaustão (Coney et al., 2004; Taylor, 2008). Embora os valores reais de rendimento sejam inferiores, rendimento médio das UTE a diesel assumido nos cálculos foi de 100%, considerando assim um cenário teórico otimista e, qualquer avaliação que melhor se aproxime da realidade deverá considerar o cenário de emissões pior do que aquele apresentado neste inventário. Os totais de poluentes obtidos estão sumarizados na Tabela 3

Tabela 3. Emissões totais para usinas termoeletricas a óleo diesel (Gg/ano).

Poluente	EPA, 1998 (Gg/ano)	(CETESB, 1999) (Gg/ano)
NO _x	92,66 - 458,58	67,92 - 307,45
SO _x	49,31 - 154,54	-
CO	41,46 - 105,22	-
MP	5,03 - 13,51	4,02 - 9,57
TOC	12,97 - 13,51	8,58 - 8,93
CO ₂	8,03 – 22,2×10 ³	-

Os valores totais emitidos pelas termoeletricas a diesel podem variar significativamente em função do cenário que se espera assumir. Embora um valor médio possa ser considerado para estudos de estabelecimento de novas políticas públicas, valores limites parecem mais razoáveis para estudos de modelagem do impacto na qualidade do ar, uma vez que fornecem um amplo espectro de possibilidades de impacto no ambiente.

Para o NO_x as emissões estimadas ficaram entre cerca de 70 e 460 Gg ano, valor superior às emissões pela frota de veículos leves (veículos movidos à gasolina C e etanol hidratado) que é cerca de 97 Gg/ano, usando como referência o ano de 2010 (MMA, 2011), e cerca de um quarto do total de NO_x emitido pela totalidade dos veículos (veículos leves e veículos movidos a diesel e GNV). Considerando o fato de que parte das termoeletricas está operando em regiões onde predominam cidades de pequeno a médio porte, é de se esperar que em parte do território nacional, apenas a emissão por centrais a diesel já deve ser considerada como mais importante que a emissão veicular para o caso do NO_x .

Os sulfatos apresentaram valores expressivos, principalmente se comparados com as emissões veiculares. Neste caso se observa que as emissões por termoeletricas a diesel, entre 49 e 155 Gg ano, são cerca de 10 a 30 vezes maior do que a emissão de toda a frota veicular. Por outro lado, as emissões estimadas para CO (41 a 105 Gg/ano) e TOC (13 Gg/ano) possuem pouca contribuição se comparado às emissões por veículos (cerca de 10 a 20 vezes maior). O valor referente ao material particulado ficou entre 5 e 14 Gg/ano, aproximadamente um terço da emissão por veículos.

4.2.2 Usinas Termoeletricas a Óleo Combustível

As termoeletricas a óleo combustível respondem por 4,1 GW, cerca de 11% da energia produzida pelas UTE. Somam apenas 34 unidades em operação, mas possuem potência média muito superior à das termoeletricas a diesel, o que confere importância à localização das unidades deste grupo de usinas. As UTE a óleo combustível apresentam-se distribuídas por todo território brasileiro, com ênfase para a região Sudeste. Devido à sua potência, o impacto local e regional desse tipo de usina é representativo e reforça a importância da representação do setor em inventários de emissão.

A Figura 5 mostra a distribuição das centrais atualmente em funcionamento. De acordo com a ANEEL (2006) todas as usinas termoeletricas a óleo combustível são complementares ao sistema hidrelétrico, ou seja, são colocadas em operação

para garantir o atendimento em momentos de pico de demanda ou para complementar a oferta proveniente das hidrelétricas em períodos de estiagem. Dessa forma, a contribuição desse setor para cenários numérico de avaliação do impacto na qualidade do ar deve ser considerada com cuidado. Mesmo assim, nos dias atuais é razoável considerar a contribuição do setor.

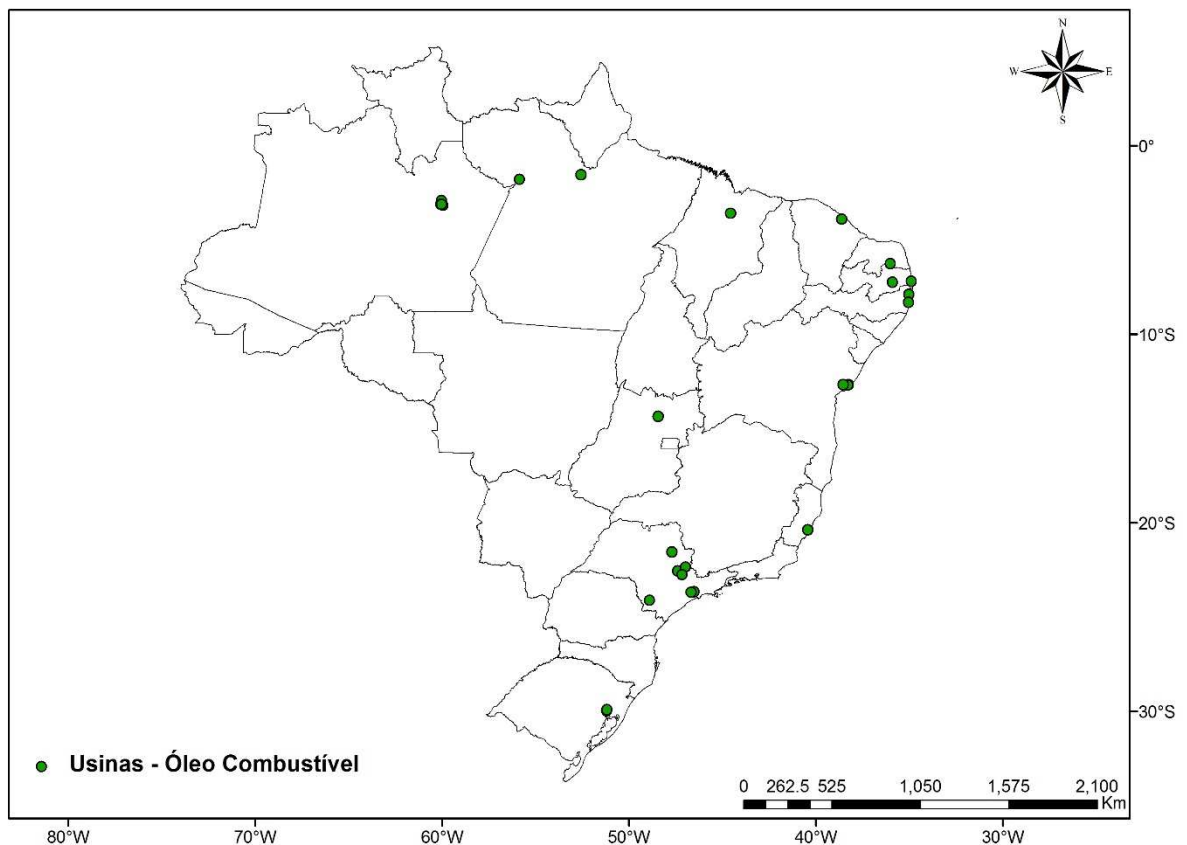


Figura 5. Distribuição das termoeletricas movidas a óleo combustível

Assim como para o diesel, os principais poluentes associados à queima de óleo combustível nas termoeletricas são MP, SO_x , NO_x , CO, TOC e CO_2 . Entretanto, o óleo combustível é um óleo residual, mais pesado e remanescente das etapas do processo de refino, o que confere ao mesmo uma composição mais complexa dependente não apenas do petróleo de origem. Como resultado, os fatores de emissão dos poluentes emitidos serão diferentes quando comparados ao diesel. Os fatores de emissão adotados neste trabalho estão representados na Tabela 5.

No caso do MP pode ser decorrente da emissão direta das partículas ou da nucleação de novas partículas ou condensação de vapores sobre partículas pré-

existentes. Em geral a emissão de MP a partir da queima de óleo residual está diretamente relacionada ao conteúdo de enxofre do óleo.

O óleo combustível possui conteúdo mais elevado de enxofre, viscosidade, cinzas e asfaltenos (compostos orgânicos presentes no petróleo, mais pesados e de maior ponto de ebulição). Em relação à participação do enxofre, de acordo com a EPA-42, cerca de 95% do conteúdo é convertido a SO_2 , cerca de 1 a 5% é posteriormente oxidado a SO_3 e 1 a 3% é emitido como partículas de sulfato

Em sistemas de combustão externa, 95% do óxido nitroso emitido ocorre na forma de NO. Medidas experimentais indicam que a formação de NO_x a partir do nitrogênio atmosférico é exponencialmente dependente da temperatura de pico, da concentração de N_2 no combustível, da concentração de O_2 e do tempo de duração do processo de combustão. Além disso, cerca de 20 a 90% do nitrogênio presente no combustível também é convertido em NO_x durante a queima do óleo, representando cerca de 50% das emissões de óxidos de nitrogênio.

Em relação à presença de CO e TOC nas emissões da queima de óleo combustível é importante considerar que, qualquer modificação no processo de combustão, com o objetivo de reduzir a emissão de NO_x pode, provavelmente, significar queima mais incompleta e aumentar a emissão desses compostos. A taxa de emissão de CO depende da eficiência de oxidação. Dessa forma, o controle sobre o processo de combustão pode minimizar as emissões de CO, assim como dos compostos orgânicos. Caso contrário, as emissões de CO podem aumentar em até 100 vezes por conta de operação ou manutenção inadequadas. Como não há informações sobre o funcionamento das UTE do setor, não foi definido um limite superior para o fator de emissão, devendo, portanto, ser considerado que se trata de um limite mínimo das emissões e que o cenário real é provavelmente um valor muito superior àquele mostrado na Tabela 5.

Deve ser observado ainda que caldeiras menores tendem a emitir mais desses poluentes do que as maiores. No caso dos carbonos orgânicos totais (TOC) são considerados os compostos orgânicos voláteis (VOCs) e semi-voláteis (SVOCs) formados a partir de hidrocarbonetos não queimados na fase de vapor. Os fatores de emissão para compostos orgânicos totais (TOC) incluem fatores para metano e hidrocarbonetos não-metânicos de processos de combustão não controlados para a emissão desses poluentes.

Para efeito de comparação, foram listados os fatores de emissão assumidos para a China por Kurokawa et al. (2013). Neste caso, TOC envolve carbono orgânico e carbonos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOCs) e MP é obtido pela soma de MP₁₀ e fuligem (BC).

Tabela 4. Fatores de emissão para óleo combustível (g/kWh).

Poluentes	EPA, 1998 (g/kWh)		Kurokawa et al. 2013 (g/kWh)
	Limite Inferior	Limite Superior	
NO _x	0,103	0,570	0,96
SO _x	1,390	1,680	2,04
CO	0,052	-	0,099
MP	0,018	0,143	0,102
TOC	0,0026	0,0257	0,0133
CO ₂	255,750	705,593	-

Os totais estimados para a emissão das UTE movidas a óleo combustível são mostrados na Tabela 6. Da mesma forma como ocorre para as UTE a diesel, os valores podem mudar em função do cenário considerado nos cálculos, por exemplo, o teor de enxofre assumido para o combustível.

As emissões de NO_x ficaram entre 4 e 20 Gg/ano, valor inferior ao estimado para as unidades movidas a diesel. Já para os sulfatos foram estimados valores entre 50 e 60 Gg/ano, comparável às centrais a diesel e cerca de 10 vezes maior do que a emissão de toda a frota veicular que é de cerca de 5 Gg/ano (MMA, 2011).

Para as emissões de CO e TOC estima-se valor relativamente baixo, cerca de 1.9 Gg/ano e de 0.09 - 0.92 Gg/ano, respectivamente. No caso das emissões de CO o valor deve ser visto apenas como um limiar inferior e diversos fatores podem levar a um total de emissão significativamente superior. Ainda assim, a contribuição continuará sendo desprezível se comparada àquela com origem veicular. O MP ficou entre 1 e 5 Gg/ano, valor inferior àquele observado para as centrais a diesel. Vale

lembrar ainda que neste caso as emissões estão distribuídas em um menor número de unidades, o que pode causar um forte impacto local e regional.

Valores estimados com base nos fatores de emissão assumidos para a China por Kurokawa et al. (2013) foram listados na Tabela 6 e mostram que as faixas assumidas neste trabalho são bastante consistentes.

Tabela 5. Emissões totais para usinas termoeletricas a óleo combustível (Gg/ano).

Poluente	EPA, 1988 (Gg/ano)	Kurokawa et al. 2013 (Gg/ano)
NO _x	3,7 – 20,4	34,3
SO _x	49,7 – 60,1	73,0
CO	1,86 -	3,54
MP	1,0 – 5,1	3,65
HC	0,09 - 0,92	0,48
CO ₂	9,1×10 ³ – 23,8×10 ³	-

4.2.3 Usinas Termoeletricas a Carvão Mineral

As termoeletricas a carvão mineral somam apenas 13 unidades e respondem por 3,39 GW, cerca de 8,9% da energia produzida pelas UTE. Embora o número de unidades em operação seja pequeno, a participação é expressiva, o que confere impacto substancial na região onde as centrais estão instaladas. A Figura 6 mostra a localização das UTE a carvão mineral e indica que há sobreposição de algumas delas, provavelmente por serem localizadas próximas às minas de carvão. Dados do relatório anual do balanço energético no Brasil (EPE, 2010) indicam que o carvão brasileiro é conhecido por baixo teor de carbono (21 a 30%), elevado teor de cinzas (40 a 62%) e enxofre (0,5 a 7,0%), além de possuir baixo poder calorífico (entre 13 e 25 MJ kg) e baixa eficiência (em torno de 33%). Ainda assim, a eficiência de 100% está mantida nos cálculos, o que pode significar que o setor contribui com muito

maior expressividade para a poluição do ar do que aquilo que se revela neste inventário.

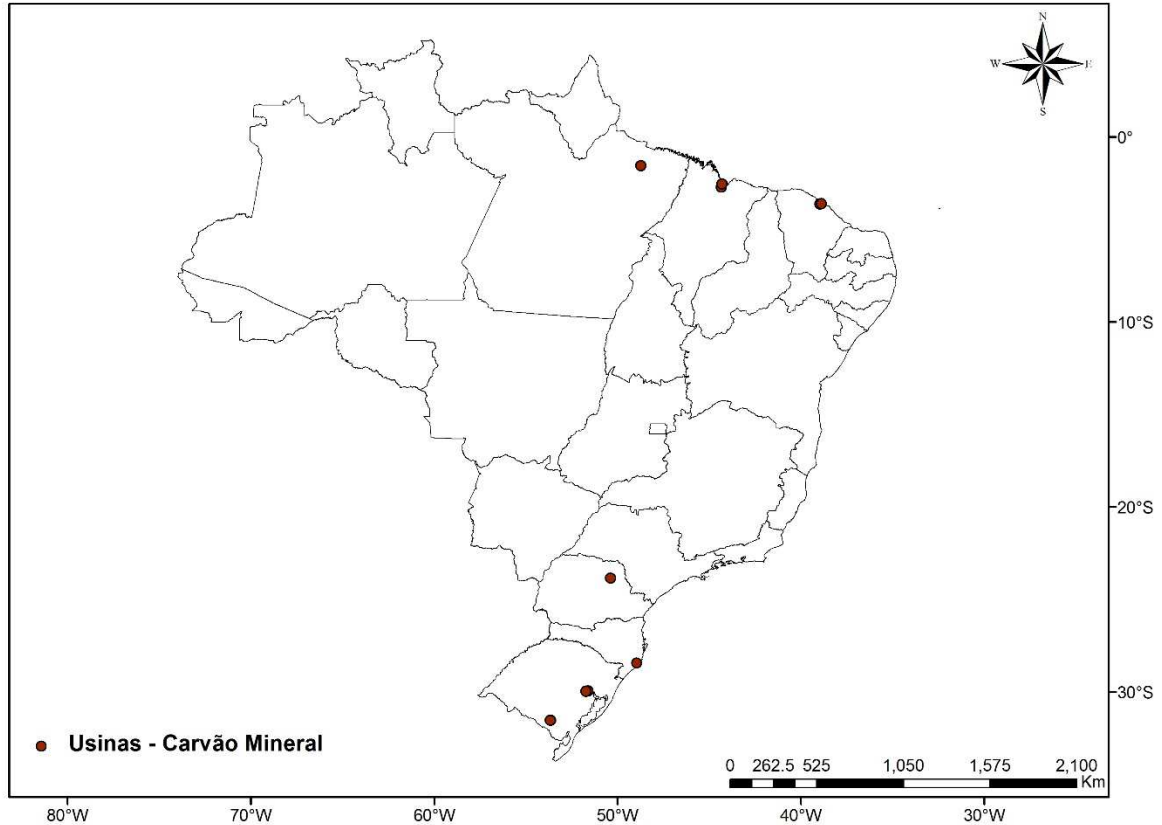


Figura 6. Distribuição das termelétricas movidas a carvão mineral.

Emissões provenientes da queima do carvão mineral dependem da qualidade do carvão, do modelo e tamanho da caldeira, das condições de queima, das tecnologias envolvidas e da manutenção dos equipamentos. Os principais poluentes do carvão sub-betuminoso (tipo predominante nas minas brasileiras) são o NO_x , SO_x , CO, MP e TOC. O NO_x é emitido principalmente como NO e muito pouco na forma de NO_2 . Como no caso dos óleos, é formado através da fixação térmica do N_2 atmosférico e da oxidação do nitrogênio presente no próprio combustível. No caso dos óxidos de enxofre predomina o SO_2 e muito pouco é emitido na forma de SO_3 e sulfatos. Em geral 95% do enxofre presente no carvão será emitido como SO_x gasoso. O CO, assim como os TOC vão depender da eficiência de oxidação do combustível e, quanto mais inapropriada a operação e a manutenção inadequada, maior serão as emissões desses compostos. As emissões orgânicas incluem

compostos voláteis, semivoláteis e compostos condensáveis tais como: alcanos, alcenos, aldeídos, álcoois, benzeno, tolueno, xileno e etil-benzeno.

Já os níveis de emissão de MP vão depender da configuração, da operação, das propriedades do carvão e dos equipamentos de controle. Em sistemas de carvão pulverizado, como ocorre nas UTE brasileiras, a participação do carbono associado à queima incompleta do combustível é minimizada e o MP emitido é composto principalmente de cinzas inorgânicas residuais.

Emissões de CO₂, CH₄ e N₂O também são produzidas durante a combustão de carvão sub-betuminoso, onde 99% de todo o carbono do combustível é convertido a CO₂. A Tabela 6 apresenta os fatores de emissão dos principais compostos emitidos durante a queima de carvão e que foram assumidos neste inventário. Os valores são bastante coerentes com aqueles utilizados por Kurokawa et al. (2013) para a China, exceto, como esperado, para os limites máximos de SO_x e MP decorrentes do elevado teor de enxofre e cinzas no carvão brasileiro.

Tabela 6. Fatores de emissão para carvão mineral (g/kWh).

Poluentes	EPA, 1998 (g/kWh)		Kurokawa et al. 2013 (g/kWh)
	Limite Inferior	Limite Superior	
NO _x	0,69	3,02	1,22
SO _x	1,44	30,87	2,06
CO	0,041	0,63	1,02
MP	6,56	78,12	1,26
TOC	0,009	1,89	0,038
CO ₂	125,0	274,0	-

Os limites de emissão definidos pelas normas regulamentadoras são, em geral, fixados por energia extraída do combustível (g/kcal). Neste trabalho a base de referência dos combustíveis fósseis é a energia efetivamente produzida pela UTE, de maneira que os cálculos não foram ajustados em função da provável energia consumida. Tal ajuste requer o uso de informação sobre o rendimento do processo

de combustão. Nesse sentido, deve-se estar atento ao fato de não se produzir comparações equivocadas, uma vez que pode haver efeito significativo da tecnologia utilizada na combustão. Por exemplo, a Eletrobrás, empresa de geração e distribuição de energia, sugere fatores de emissão entre 5.7 e 68 g/kWh para o SO_x e 119 a 390 g/kWh para o MP (Eletrobrás, 2000), considerada a emissão específica por unidade de energia gerada.

As emissões estimadas para as UTE movidas a carvão mineral estão listadas na Tabela 8. Os cenários considerados neste caso acarretaram faixas maiores de valores em função de peculiaridades do carvão mineral brasileiro em relação aos demais combustíveis fósseis. As emissões de NO_x ficaram entre 21 a 90 Gg/ano, correspondendo a valores intermediários entre as emissões das UTE a óleo diesel e aquelas a óleo combustível. Já para o SO_x foram estimados valores entre 43 e 916 Gg/ano, onde o limite inferior é comparável às centrais a diesel e óleo combustível, mas pode chegar a valores cerca de 10 a 20 vezes maior, o que tornaria a emissão de óxidos de enxofre pela frota veicular comparativamente insignificante.

Para CO e TOC os valores encontrados estão na faixa de 1,22 a 19 Gg/ano e 0,27 a 54 Gg/ano, respectivamente. São valores comparáveis às emissões de diesel, mas muito inferiores às emissões veiculares. O MP ficou entre 195 e 2320 Gg/ano, valor significativamente maior que as emissões por diesel e óleo combustível. Se comparado às emissões veiculares, o valor pode chegar a algumas dezenas de vezes maior, o que indica a importância de estudos pormenorizados envolvendo a emissão de MP nas regiões onde estão instaladas as UTE a carvão. Quando usados os fatores de emissão assumidos para a China por Kurokawa et al. (2013), os totais deixam de ser comparáveis para SO_x e MP, conforme esperado devido aos fatores de emissão calculados de acordo com a realidade brasileira para o carvão mineral.

Os resultados das emissões das UTE a carvão reforçam a visão amplamente difundida do carvão mineral como um combustível sujo, ou algo do passado. Os valores estimados para o MP reforçam essa percepção. Mesmo considerando que as centrais possam estar localizadas junto às minas de extração e afastadas de centros urbanos, ou ainda que a maior parte do MP seja de partículas acima de 1,0 µm de diâmetro, o poluente deve, para este setor em particular, ser foco de estudos científicos, principalmente voltados à qualidade do ar e impacto na saúde.

Tabela 7. Emissões totais para usinas termoeletricas a carvão mineral (Gg/ano).

Poluente	EPA, 1998 (Gg/ano)	Kurokawa et al. 2013 (Gg/ano)
NO _x	20,5 - 89,7	36,2
SO _x	42,8 – 916,6	61,2
CO	1,22 – 18,7	30,3
MP	195 - 2320	37,4
TOC	0,27 – 54,0	1,13
CO ₂	3,7×10 ³ – 8,1×10 ³	-

Os limites inferiores devem ser considerados para a situação particular em que todas as termelétricas funcionam com o uso de sistemas de controle das emissões atmosféricas, o que pode reter parte significativa do material particulado. Entretanto, os valores assumidos contemplam a realidade brasileira para um carvão de baixa qualidade e, mesmo que mecanismos pós-queima sejam utilizados para a redução das emissões de MP, resta avaliar como se dá essa redução ao longo do espectro de tamanho das partículas emitidas.

4.2.4 Usinas Termoeletricas a Gás Natural

Existem 124 unidades termoeletricas a gás natural que respondem por 12,8 GW, cerca de 33,6% da energia produzida pelas UTE. O gás natural é o principal combustível das UTE brasileiras e consiste principalmente de metano (CH₄), representando cerca de 85%, seguido em menor participação por propano (C₂H₆), butano (C₃H₈) e gases inertes como o nitrogênio, dióxido de carbono e hélio. O poder calorífico varia de 35 a 39 MJ/m³ e os principais poluentes emitidos durante a queima são NO_x, CO, CO₂, CH₄, N₂O, VOCs e quantidades traços de SO₂ e MP. A Figura 4.4 mostra a distribuição das UTE a gás natural em todo o território brasileiro. A maioria das centrais estão instaladas próximo às capitais do Sudeste

(principalmente São Paulo e Rio de Janeiro), Nordeste e Norte (principalmente em Manaus). O Sul e o Centro-Oeste concentram apenas algumas unidades.

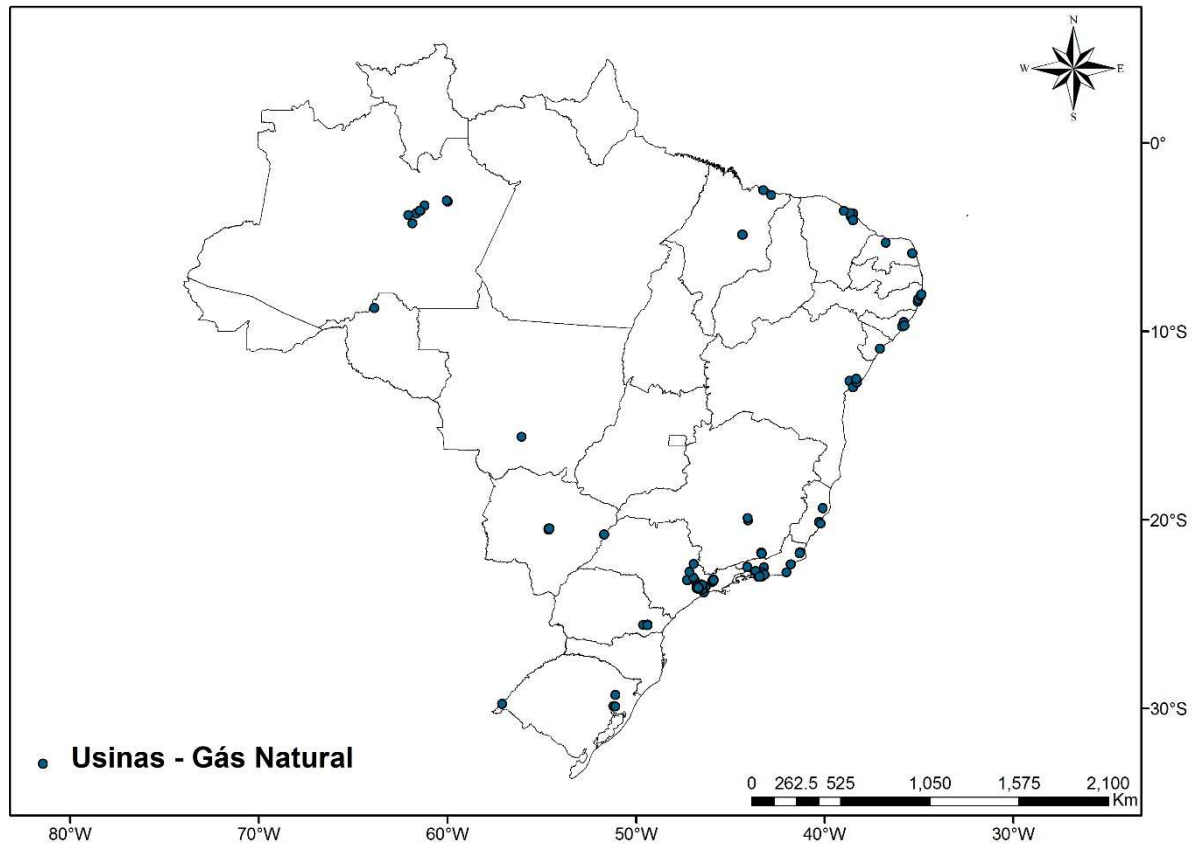


Figura 7. Distribuição das termoeletricas movidas a gás natural

A formação de NO_x durante a combustão do gás natural ocorre basicamente através da dissociação térmica e subsequente reação das moléculas de N_2 e O_2 presentes no ar usado no processo de combustão. Concentração de oxigênio, valor da temperatura de pico e tempo de exposição à temperatura de pico durante a queima são fatores que influenciam diretamente na emissão de NO_x , independentemente do tipo de caldeira utilizado na queima, embora os níveis de emissão possam variar com o tamanho e condições de operação da caldeira. Devido às condições de baixo conteúdo de nitrogênio no gás natural, a formação de NO_x através de outros mecanismos não é significativa.

A emissão de SO_x costuma ser desprezível para a queima de gás natural quando comparada a outros combustíveis fósseis. A exceção vale para a queima de gás natural não processado e que contenha elevado teor de enxofre. Por outro lado,

embora processado, a adição de odores para fins de detecção de vazamento pode levar a uma pequena quantidade de emissão desses óxidos.

As emissões de CO estão relacionadas diretamente com a eficiência da queima. O funcionamento inadequado ou mesmo a adição de mecanismos de controle da emissão de NO_x podem reduzir a eficiência de combustão e aumentar a emissão de CO.

Para MP, observa-se que em geral as emissões correspondem a partículas com diâmetro abaixo de 1,0 µm e são formadas por hidrocarbonetos de elevada massa molecular resultantes da queima incompleta. Da mesma forma, a taxa de emissão de VOCs vai depender da eficiência de combustão e pode ser minimizada quando mecanismos que promovem mistura mais eficiente do combustível com o ar, elevadas temperaturas e maior tempo de residência na câmara de combustão.

Em relação ao CO₂, para condições ideais de combustão, aproximadamente 99,9 % do carbono é convertido em CO₂. A fração não queimada acaba resultando na emissão de CH₄, CO e VOCs, em quantidades pouco expressivas, independentemente do tipo de caldeira. No caso do N₂O as emissões são minimizadas em condições de elevadas temperaturas e de não haver excesso de oxigênio. Os fatores admitidos para inventariar as emissões pelas UTE a gás natural são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Fatores de emissão para gás natural (g/kWh).

Poluentes	EPA, 1998 (g/kWh)		Kurokawa et al. 2013 (g/kWh)
	Limite Inferior	Limite Superior	
NO _x	0,049	0,43	0,74
SO _x	0,0009	-	0,0009
CO	0,036	0,15	0,074
MP	0,012	-	-
TOC	0,017	-	0,018
CO ₂	182,4	-	-

Os resultados das emissões das UTE a gás natural estão mostrados na Tabela 9. Observa-se contribuição pouco expressiva para o SO_x, MP e TOC. As emissões para NO_x e CO possuem alguma expressividade e são comparáveis àquelas das termoeletricas a carvão, mas desprezíveis se comparado às emissões veiculares. Por outro lado, as emissões de CO₂ têm peso substancial e são comparáveis ou maiores que os limites superiores das demais termoeletricas movidas a combustível fóssil. Em relação às emissões deste setor, a contribuição do CO₂ proveniente da queima de gás natural deve ser muito mais expressiva em áreas urbanizadas onde há número significativo de termoeletricas instaladas, como é o caso de São Paulo, Rio de Janeiro e Manaus.

Tabela 9. Emissões totais para usinas termoeletricas a gás natural (Gg/ano).

Poluente	EPA, 1998 (Gg/ano)	Kurokawa et al. 2013 (Gg/ano)
NO _x	5,5 – 48,3	83,2
SO _x	0,10	0,10
CO	4,1 – 16,6	8,3
MP	1,35	-
TOC	1,91	2,02
CO ₂	20,5×10 ³	-

4.2.5 Usinas Termoeletricas a Bagaço de Cana

O bagaço é a fibra residual celulósica do processo de fabricação de açúcar e etanol. Atualmente a quase totalidade do bagaço é aproveitada na geração de eletricidade a partir de sua combustão. Em geral o poder calorífico varia de 7 a 9 MJ/kg de bagaço, com teor de umidade entre 45 e 55% da massa. A indústria canavieira brasileira e as suas UTE a bagaço associadas estão localizadas principalmente no Estado de São Paulo e áreas adjacentes dos Estados do Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Goiás, além de toda faixa costeira dos Estados

de Alagoas, Pernambuco e Paraíba. A Figura 4.5 ilustra a localização das UTE movidas a bagaço.

As 124 unidades termoelétricas a bagaço de cana respondem por 9,9 GW da potência instalada em UTE, cerca de 26% da energia produzida pelo setor. É o segundo setor produtor de energia termoelétrica, perdendo apenas para gás natural e o representante majoritário do uso da biomassa para produção de eletricidade. Como houve expansão acentuada do parque industrial sucroalcooleiro no Brasil, os mecanismos de queima e as emissões associadas ainda requerem ser estudados com maior profundidade, de maneira que os valores limites admitidos neste trabalho devem ser vistos apenas como referenciais de partida para estudos mais aprofundados.

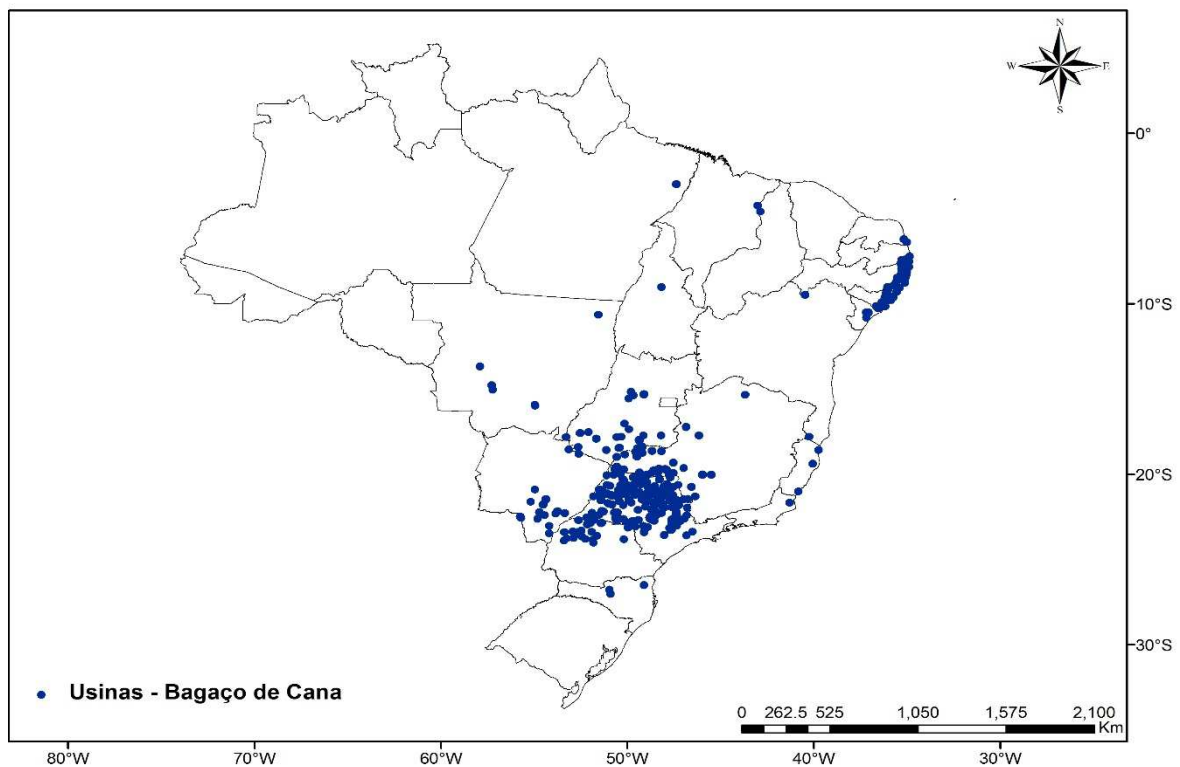


Figura 8. Distribuição das termoelétricas movidas a bagaço de cana

O poluente mais comum emitido na queima do bagaço é o MP, enquanto que as emissões de NO_x e SO_x são inferiores às emitidas na queima de combustíveis fósseis devido ao baixo teor de enxofre e nitrogênio no bagaço. Por outro lado, combustíveis auxiliares podem ser utilizados no início da queima ou quando há elevado teor de umidade no bagaço. Neste caso, as emissões de NO_x e

SO_x podem aumentar. O preparo incorreto da cana ou a queima ineficiente também podem aumentar o conteúdo de cinzas e as emissões de CO e TOC.

Os fatores de emissão adotados para as UTE a bagaço de cana estão listados na Tabela 10. Observa-se bom nível de concordância entre os fatores fornecidos pela AP-42 e aqueles utilizados pela CETESB. Não foram encontrados fatores de emissão para CO e SO_x e os fatores foram então assumidos como nulos. No caso do SO_x e TOC, testes experimentais indicam que, em condições ideais de queima, os valores emitidos são desprezíveis (Werther et al., 2000).

Tabela 10. Fatores de emissão para bagaço de cana (g/kWh).

Poluentes	EPA, 1998 (g/kWh)		CETESB, 1999 (g/kWh)
	Limite Inferior	Limite Superior	
NO _x	0,28	0,36	0,27
SO _x	-	-	-
CO	-	-	-
MP	0,32	4,68	3,51
TOC	0,00023	0,00030	-
CO ₂	359	468	400

A contribuição das emissões por UTE a bagaço só é representativa para NO_x, MP e CO₂ (Tabela 11). Para o NO_x os valores (16 – 21 Gg/ano) se equiparam às emissões por UTE a óleo combustível e gás natural, mas são inferiores às contribuições das centrais a diesel e carvão mineral. Em comparação às emissões veiculares a contribuição do NO_x não é significativa. Em relação às emissões de MP (18 – 267 Gg/ano), observam-se valores superiores às emissões por combustíveis fósseis e por veículos.

Para as emissões de CO₂ (20 – 27 Tg/ano), os valores estão ligeiramente acima daqueles verificados para as centrais movidas o combustível fóssil, mas ainda assim a contribuição não é significativa se comparada àquela dos veículos. Quando

estimadas com base em fatores de emissão adotados pela CETESB, observa-se bom nível de concordância entre as estimativas.

A contribuição mais importante das emissões por UTE a bagaço de cana está no MP. Neste caso não apenas pelo valor apresentado nas estimativas, mas pelo fato das usinas estarem concentradas majoritariamente em dois pólos específicos do país, São Paulo e parte central da costa do Nordeste. É importante que estudos de modelagem sejam realizados e verifiquem o nível de impacto regional deste poluente e se o mesmo se apresenta como o componente majoritário da concentração de poluentes atmosféricos nessas regiões.

Tabela 11. Emissões totais para usinas termoelétricas a bagaço de cana (Gg/ano).

Poluente	EPA, 1998 (Gg/ano)	CETESB, 1999 (Gg/ano)
NO _x	15,97 – 20,53	15,40
SO _x	-	-
CO	-	-
MP	18 – 267	200
TOC	0,01 – 0,02	-
CO ₂	20,5 – 26,7×10 ³	22,8×10 ³

4.7 Indústrias de Cimento

O mercado do cimento no Brasil é composto por 15 grupos cimenteiros, nacionais e estrangeiros, com 93 plantas espalhadas por todas as regiões brasileiras, sendo cinco delas ainda em construção. A capacidade instalada no país é de 78 milhões de toneladas por ano (SNIC).

O processo de fabricação de cimento tem papel fundamental tanto no consumo de energia quanto no aumento nos níveis de poluentes em todo o mundo. NO_x, SO₂, CO, MP e CO₂ são os principais poluentes associados à produção de cimento portland. Quantidades traços de VOCs, NH₃, Cl e HCl também podem ser

emitidas. Outros elementos, incluindo metais pesados, também podem ser emitidos em função da matéria prima e dos combustíveis residuais eventualmente usados no processo de produção de cimento.

Tais metais emitidos pelo processo de fabricação de cimento não serão inventariados neste trabalho, mas têm papel importante em estudos de qualidade do ar. Como exemplo desses metais, podem ser citados: mercúrio (Hg), tálio (Tl), antimônio (Sb), cádmio (Cd), chumbo(Pb), selênio(Se), zinco(Zn), potássio(K), sódio (Na), bário(Ba), cromo(Cr), arsênio(As), níquel(Ni), vanádio(V), manganês(Mn), cobre(Cu) e prata(Ag). As indústrias de cimento inventariadas neste trabalho estão mostradas na Figura 9, onde se observa que a maior parte dos empreendimentos está localizada na região Sudeste, com uma segunda concentração em torno da capital do país.

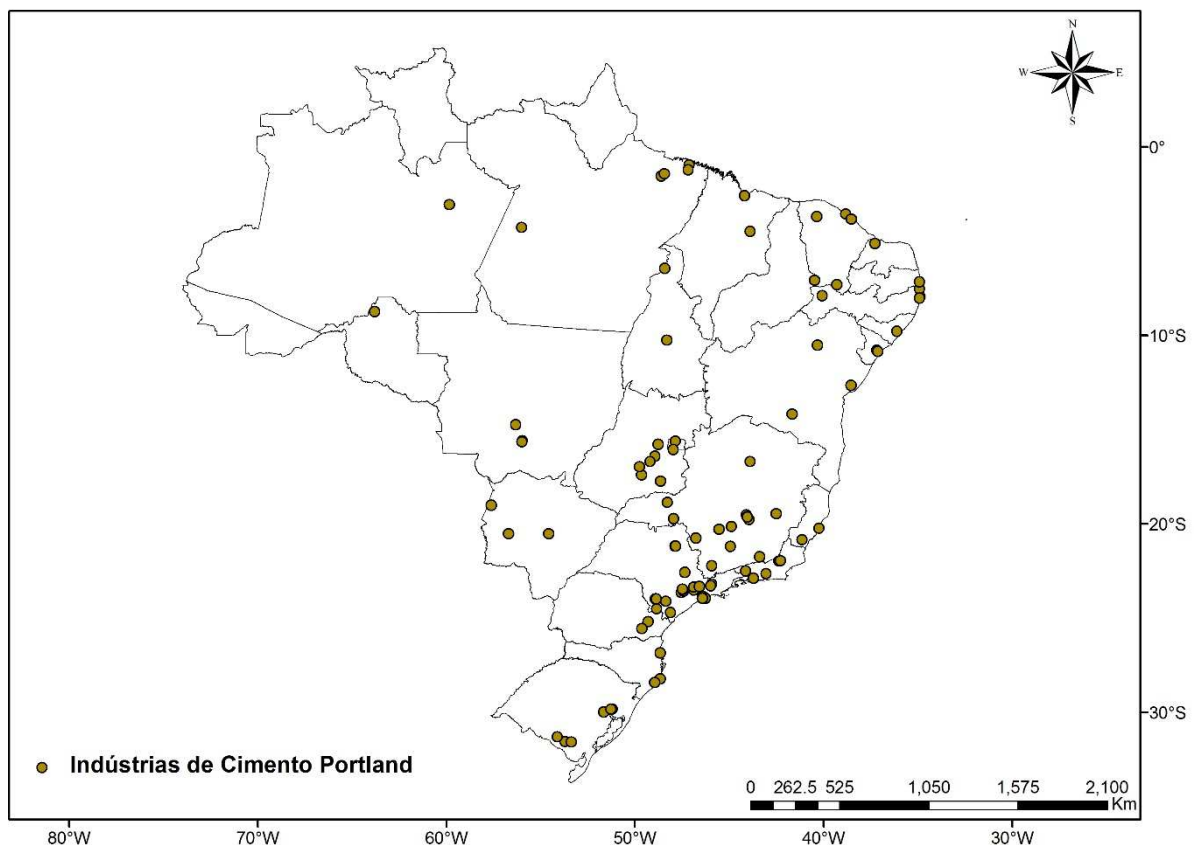


Figura 9. Distribuição espacial das indústrias de cimento.

As principais fontes de MP na indústria de cimento são os fornos e as torres de resfriamento do clínquer (resultado da calcinação em temperaturas elevadas da mistura do calcário, da argila e de componentes químicos como o silício, o alumínio

e o ferro). Esmagamento, moagem, mistura, transporte e embalagem também podem ser considerados como fontes adicionais de MP.

O NO_x é formado pela oxidação do nitrogênio presente no combustível, bem como pelo nitrogênio presente no ar de combustão. O tipo de combustível e a temperatura de cada etapa serão determinantes na quantidade de NO_x emitido. Por exemplo, a queima de um combustível com baixo teor de nitrogênio (gás natural), mas que atinge elevadas temperaturas dentro do forno, acaba gerando uma maior quantidade de NO_x do que um combustível com elevado teor de nitrogênio (óleo e carvão mineral), mas que queima em temperaturas mais baixas. O contrário ocorre nas etapas de separação do carbonato de cálcio dos demais constituintes, que ocorre a temperaturas mais baixas.

Na emissão de SO_x , tanto o combustível utilizado nos fornos quanto a matéria prima (calcário e argila) podem contribuir com as emissões do poluente, que pode variar de uma unidade de produção para outra. CO e VOCs podem ser emitidos em pequenas quantidades, dependendo das características dos combustíveis utilizados nos fornos e das condições de combustão. Para as emissões de CO_2 existem duas fontes básicas associadas à produção de cimento.

A primeira está relacionada à queima do combustível nos fornos, o que resulta em quantidade substancial do gás, conforme discutido nas emissões por UTE. Este processo pode produzir entre 0,85 e 1,35 kg de CO_2 para cada kg de cimento produzido (AP-42). A segunda fonte de CO_2 está na etapa de calcinação do material calcário, que compreende basicamente a decomposição do CaCO_3 em CaO e CO_2 , o que resulta em cerca de 500 g de CO_2 para cada kg de cimento produzido. Os fatores de emissão admitidos neste trabalho estão listados na Tabela 12.

Para NO_x o total estimado para as emissões das indústrias de cimento (174 – 306 Gg/ano) é comparável às emissões totais para usinas termoelétricas a óleo diesel e significativamente superior aos valores estimados para as demais termoelétricas (ver Tabela 13). Em comparação às emissões veiculares (MMA, 2011) chega a 20% do valor estimado. As estimativas de emissão de SO_x (22 – 405 Gg/ano) são maiores do que as emissões por UTE a óleo combustível e da mesma ordem das emissões por UTE a diesel e carvão. Em relação às emissões de CO (10 – 306 Gg/ano) observa-se que não são expressivas em comparação às emissões veiculares, mas são comparáveis às emissões por UTE a carvão mineral.

Tabela 12. Fatores de emissão para indústrias de cimento (g/kg) e (g/kWh).

Poluentes	EPA, 1998 (g/kWh)		Chen, 2010; Atilh, 2002 (g/kg)
	Limite Inferior	Limite Superior	
NO _x	2,1	3,7	1,5
SO _x	0,27	4,9	0,58
CO	0,12	3,7	1,4
MP	0,17	195,11	0,49
TOC	0,028	0,18	0,07
CO ₂	1800	2100	810

Para o MP é observada uma extensa faixa de valores para os fatores de emissão, o que produz estimativas entre 14 e 10700 Gg/ano, o que é comparável ao que ocorre para as UTE a carvão. Neste caso entram em cena a tecnologia envolvida nas etapas de processamento da matéria prima até a obtenção do produto final, bem como a existência de filtros, fatores que podem reduzir significativamente o total de material particulado emitido.

Tabela 13. Emissões totais para indústrias de cimento (Gg/ano).

Poluente	EPA, 1998 (Gg/ano)	CETESB, 1999 (Gg/ano)
NO _x	174 - 306	124
SO _x	22 - 405	48
CO	10 - 306	116
MP	14 - 10700	401
TOC	2,3 – 14,9	5.8
CO ₂	149 – 173 ×10 ³	67×10 ³

As emissões de TOC não são expressivas e se comparam àquelas estimadas para as UTE a diesel e carvão mineral. Por fim observa-se que reside no CO₂ o

maior diferencial em relação aos demais setores inventariados, cerca de 149 a 173 Tg/ano, valor superior às emissões de todas as UTE e da mesma ordem das emissões veiculares.

4.8 Indústrias de Papel e Celulose

A industrialização de celulose e papel no Brasil é feita basicamente do processamento de fibras de eucalipto e pinus. O processo envolve a separação das fibras dos demais constituintes do tronco, principalmente da lignina. O processo químico de tratamento da madeira conhecido como Kraft é o mais comum na indústria de celulose. Neste processo a madeira é preparada na forma de cavacos e colocada em digestores com NaOH e Na₂S. No Brasil, segundo a CETESB (CETESB, 2010) o processo Kraft recebe maior dosagem de NaOH e Na₂S e o cozimento é feito por mais tempo e sob temperaturas mais elevadas. Este processo também é conhecido como Processo Sulfato, sendo o mais adequado ao tratamento do eucalipto, madeira predominante na fabricação de celulose e papel no Brasil. Os componentes residuais do tronco formam o que se conhece como lixívia negra, produto também utilizado na combustão para obtenção de energia. Agentes oxidantes como oxigênio, ozônio e peróxidos também costumam ser utilizados para a remoção residual da lignina e dar o aspecto branqueado à celulose.

Foram identificadas as 17 maiores empresas do setor, distribuídas em 64 unidades de produção de papel e celulose instaladas no Brasil, conforme Figura 10. As regiões Sul e Sudeste concentram a grande maioria das plantas em operação (cerca de 90% da produção), em particular a região metropolitana de São Paulo e região central de Santa Catarina. De acordo com a Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELPA, 2014), as unidades inventariadas respondem por mais de 97% da produção de papel e celulose no Brasil. Para o cálculo produzido por cada unidade, dividiu-se igualmente a produção de cada empresa por suas unidades de produção. Isso serve como uma primeira aproximação, mas deve ser aprimorado à medida que estudos sejam desenvolvidos com foco no setor ou nas regiões com maior número de unidades industriais instaladas.

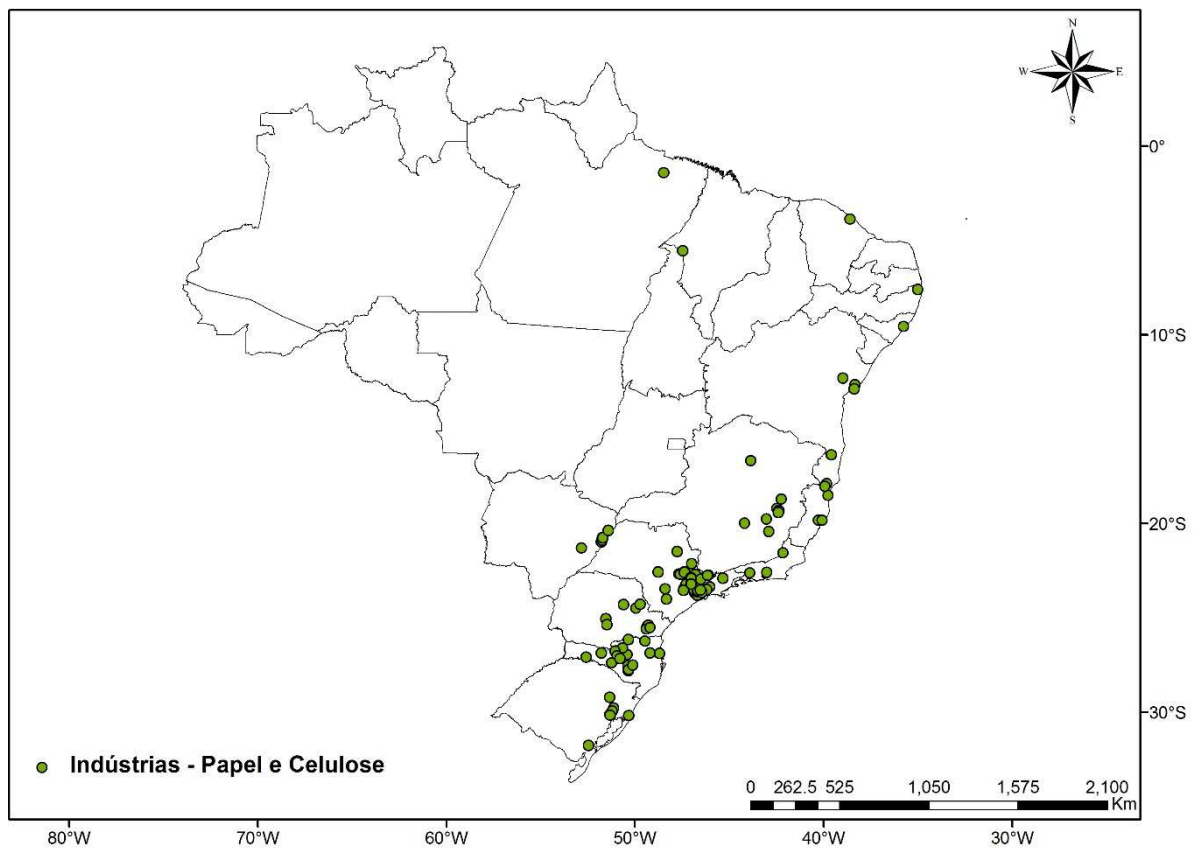


Figura 10. Distribuição espacial das indústrias de celulose e papel..

Os fatores de emissão de NO_x associados à produção de celulose e papel são considerados a partir da queima de combustíveis fósseis que participa de determinadas etapas do processo. O SO_2 é produzido principalmente a partir da oxidação de compostos de enxofre presentes no processo.

A emissão de CO está diretamente relacionada a condições inadequadas de oxidação do combustível nas câmaras de combustão. Embora os combustíveis fósseis sejam largamente usados em indústrias de celulose e papel, no caso brasileiro o uso de fontes renováveis é expressivo. O licor negro (resíduo do processo de produção da celulose), por exemplo, responde por quase 40% da energia usada pelas unidades da indústria Klabin (Klabin, 2011). Juntamente com outras fontes de biomassa responde por mais de 70% da energia consumida.

Na Tabela 4.13 estão listados os fatores de emissão admitidos nos cálculos das emissões do setor de papel e celulose, com base nos fatores propostos pela AP-42. Entretanto, os valores comparativos fornecidos pela empresa Klabin devem ser vistos com mais atenção e podem refletir mais de perto a realidade das emissões brasileiras para a produção de celulose e papel. A CETESB sugere fatores na faixa

0,0017 - 1,5 g/kg para o NO_x, 0,1 – 4,9 g/kg para TOC (considerando apenas VOCs não metânicos) e 5,6 g/kg para o CO, valores que são comparáveis às faixas admitidas pela EPA ou assumidas pela empresa Klabin.

Tabela 14. Fatores de emissão para indústrias de celulose e papel (g/kg)

Poluentes	EPA, 1998 (g/kg)		Klabin, 2011 & CETESB, 2010 (g/kg)
	Limite Inferior	Limite Superior	
NO _x	0,5	1,0	3,43
SO _x	3,5	7,0	2,03
CO	5,5	11,0	5,6*
MP	0,25	28	6,60
TOC	-	-	3,7*
CO ₂	-	-	176

* CETESB, 2010

As emissões de NO_x (Tabela 15) não se apresentaram expressivas para o setor de produção de papel e celulose (6,2 a 12,4 Gg/ano) com base nos fatores sugeridos pela AP-42, com valores inferiores à maioria das UTE. Por outro lado, com base nos fatores da Klabin, as emissões de NO_x (42,5 Gg/ano) concordam com os valores estimados a partir dos fatores adotados pela CETESB e reforçam a importância do uso de fatores medidos localmente.

Para as emissões de SO_x (43 – 87 Gg/ano) e CO (68 – 136 Gg/ano) são observadas contribuições mais representativas, comparáveis às emissões das termoelétricas a diesel e, no caso do CO, muito superior às emissões das demais termoelétricas. O CO₂, embora não encontre valores referenciais na AP-42, para a indústria de papel e celulose, se admitidos os valores assumidos pela empresa Klabin observa-se que não se trata de um setor que contribua significativamente para este gás. Para o TOC, com base nos fatores de NMVOCs admitidos pela CETESB, observa-se que se trata da contribuição de maior expressividade do setor

de papel e celulose, cerca de 46 Gg/ano, superando a contribuição das termoelétricas e cerca de 20% da contribuição estimada para veículos.

Tabela 15. Emissões totais para indústrias de celulose e papel (Gg/ano).

Poluente	EPA, 1998 (Gg/ano)	Klabin, 2011; CETESB, 2010 (Gg/ano)
NO _x	6,2 – 12,4	42,5
SO _x	43,3 – 86,7	25,1
CO	68,1 – 136,2	67,3*
MP	3,1 – 346,7	81,7
TOC	-	45,8*
CO ₂	-	2,2×10 ³

* CETESB, 2010

4.9 Indústrias de Refino de Petróleo

O petróleo apresenta características diferenciadas de acordo com sua origem. Os dois principais parâmetros considerados na qualidade do petróleo são a densidade e o conteúdo de enxofre. A densidade varia de leve a pesado enquanto que o conteúdo de enxofre é caracterizado como doce ou azedo, valores entre 0 e 3,5% de enxofre. Óleos mais leves (baixa densidade) e mais doces (baixo teor de enxofre) são mais valorizados (U.S. Energy Information Administration - Energy Intelligence Group – www.eia.gov).

A indústria de refino converte o óleo cru em gás liquefeito de petróleo, gasolina, querosene, diesel, óleo combustível, lubrificantes e centenas de outros produtos. As emissões associadas ao refino do petróleo compreende todas as etapas e processos envolvidos na refinaria, que vão desde a chegada do produto até o manuseio do produto final e instalações auxiliares que são utilizadas, por exemplo, no tratamento de efluentes. As refinarias emitem grande quantidade de NO_x, SO_x, MP e VOCs. As emissões de SO_x, por exemplo, podem ser significativas justamente

porque uma grande quantidade de enxofre necessita ser removida para se produzir um combustível com baixo teor de enxofre. Existem atualmente 16 unidades de refino de petróleo em território brasileiro, processando cerca de 700 milhões de m³ de petróleo por ano (ano de referência - 2011).

A Figura 4.8 mostra a localização das refinarias em operação. Observa-se que a maioria das refinarias está localizada na região Sudeste, que também responde pela maior parte do refino de petróleo no Brasil.

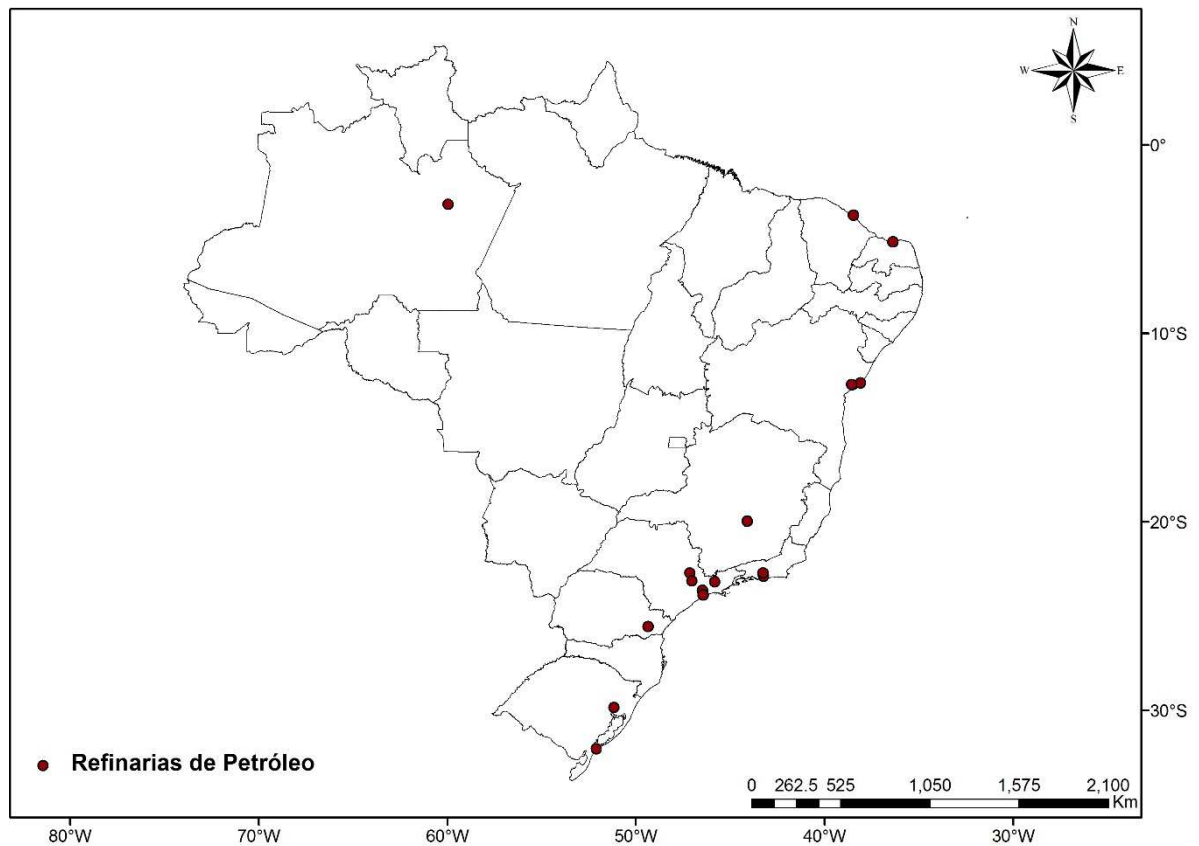


Figura 11. Distribuição espacial das indústrias de refino de petróleo.

Os fatores de emissão assumidos neste trabalho consideram a soma das contribuições das etapas do processo de refino que contribuem significativamente para a emissão de poluentes atmosféricos. A emissão de cada etapa depende das tecnologias empregadas para controle de emissões, o que pode tornar os limites inferiores e superiores bastante diferentes entre si.

Os valores foram obtidos com base na AP-42 para os poluentes NO_x, SO_x, CO, MP e TOC. Ainda assim, de acordo com o documento, a literatura disponível não deixa muito claro que emissão é liberada e em que parte do processo é

liberada. No caso das refinarias os fatores são expressos em unidades de massa do poluente emitido por unidade de volume do óleo refinado (g/L). Para a emissão de CO₂ foram considerados os fatores propostos por Szklo e Schaffer (2007), com base em diversas refinarias europeias. Neste caso os valores variam de 180 a 500 g/L de óleo cru processado, variando de acordo com a capacidade de conversão das refinarias. Não foram consideradas as contribuições oriundas do processo de coqueamento retardado, etapa do refino que permite que as refinarias consigam converter cargas de maior peso molecular, proveniente de fases de refino anteriores, em produtos leves de maior valor agregado como óleo diesel, naftas e GLP. Embora as emissões sejam consideráveis nesta etapa do refino, os fatores de emissão definidos pela AP-42 são expressos em função do volume de gás queimado, cujo valor não foi obtido das refinarias. Para o caso particular do MP, não foram encontrados dados na literatura para o processo de coqueamento retardado.

Os fatores assumidos por DeLuchi (1993) também são listados na Tabela 16 para efeito de comparação. Neste caso deve-se considerar que o autor calcula os fatores de emissão em função do combustível consumido como gasolina e diesel, de maneira que os valores da tabela devem ser vistos como uma referência entre uma situação hipotética em que a refinaria produziria apenas diesel (limite inferior) ou gasolina (limite superior).

Tabela 16. Fatores de emissão para indústrias de refino de petróleo (g/L)

Poluentes	EPA, 1998 (g/L)		DeLuchi, 1993 (g/L)
	Limite Inferior	Limite Superior	
NO _x	0,18	0,48	0,35 - 0,72
SO _x	0,17	1,75	0,57 – 0,76
CO	10,8	50,0	0,40 – 0,50
MP	0,09	2,53	0,08 – 0,09
TOC	0,25	2,91	0,04 – 0,08**
CO ₂	180	500	

* com base no combustível consumido

** usando VOCs como referência

As estimativas de emissão para o setor de refino de petróleo estão sumarizadas na Tabela 17. Os valores estimados para as emissões de NO_x (124 – 330 Gg/ano) são da mesma magnitude das emissões estimadas para as UTE a diesel e indústrias de cimento. São significativamente maiores que os demais setores inventariados e da ordem de 20 a 30% das emissões veiculares.

Para as emissões de SO_x, embora com ampla margem de incerteza, as estimativas (117 – 1201 Gg/ano) são superiores às contribuições de setores reconhecidos como fontes majoritárias do poluente, como é o caso das UTE a diesel e carvão. Para as emissões de CO, os valores encontrados com base nos limites propostos pela AP-42 ($7,4 \times 10^3$ – $34,3 \times 10^3$ Gg/ano) se mostram muito superiores aos encontrados na literatura (275 – 343 Gg/ano). Mesmo com base na literatura os valores são muito superiores às emissões encontradas para as UTE a diesel, indústrias de celulose e papel e indústrias de cimento, setores inventariados mais importantes para a emissão de CO.

Tabela 17. Emissões totais para indústrias de refino de petróleo (Gg/ano).

Poluente	EPA, 1988 (Gg/ano)	DeLuchi, 1993 (Gg/ano)
NO _x	123,6 – 329,5	240,2 – 494,2
SO _x	116,7 – 1201,2	391,3 – 521,7
CO	$7,4 \times 10^3$ – $34,3 \times 10^3$	274,6 – 343,2
MP	61,1 – 1736,6	54,9 – 61,8
TOC	171,6 – 1997,4	27,5 – 54,9
CO ₂	$123,6 \times 10^3$ – $343,2 \times 10^3$	-

Para o MP também se observa enorme distância entre os limites inferior e superior dos totais emitidos (61 – 1737 Gg/ano), embora o limite inferior se encontre semelhante aos valores sugeridos pela literatura. A comparação com os demais setores que possuem grande contribuição para MP (UTE a bagaço, indústrias de papel e celulose e indústrias de cimento) vai depender de uma melhor compreensão das metodologias envolvidas em cada fator de emissão obtido, aspecto nem sempre

muito claro nas publicações associadas ao tema. Mesmo assim deve ser considerado que se trata de um setor importante para as emissões de MP.

Para as estimativas de emissão de TOC (172 –1997 Gg/ano) os valores também são superiores ao que se observa na literatura e, da mesma forma como acontece com o MP, a comparação com os demais setores fica comprometida. As emissões de CO₂ (124 – 343 Tg/ano) são comparáveis às emissões pelas indústrias de cimento e por veículos e muito superiores aos demais setores inventariados neste trabalho.

5. CONCLUSÃO

Os resultados encontrados neste trabalho demonstram definitivamente que as emissões atmosféricas por fontes fixas para o Brasil têm papel fundamental na concentração de poluentes atmosféricos e devem ser integradas aos cenários de estudos de modelagem da qualidade do ar ou do impacto na saúde, bem como à definição de políticas para a área de qualidade do ar.

Os totais calculados levaram em conta as faixas de fatores de emissão propostos na AP-42 da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos - USEPA, (USEPA, 1995). Outros fatores de emissão identificados na literatura também foram incluídos de forma comparativa e servem como parâmetros para avaliação da faixa de incerteza associada às emissões estimadas neste trabalho. Uma síntese comparativa das estimativas de cada poluente para os diferentes setores inventariados é mostrada na Tabela 18 (apêndice). A Figura 13 (apêndice) mostra a contribuição integrada por todos os setores para cada poluente em específico.

O total estimado para a emissão de NO_x foi de 857 ± 415 Gg/ano, um pouco inferior às emissões por veículos (944 Gg/ano). Para o SO_x as emissões por fontes fixas ($1,51 \pm 1,23$ Tg/ano) foram estimadas em mais de 300 vezes as emissões veiculares (cerca de 5 Gg/ano). As estimativas para CO ficaram em $21,2 \pm 13,7$ Tg/ano, cerca de 17 vezes as emissões veiculares. O MP estimado ficou em $10,4 \pm 10,1$ Tg/ano, cerca de 360 vezes as emissões por veículos. As emissões de TOC ficaram em $1,14 \pm 0,95$ Tg/ano, cerca de cinco vezes as emissões estimadas para veículos. As estimativas para emissão de CO_2 ficaram em $21,2 \pm 13,7$ Tg/ano, cerca de três vezes as emissões veiculares. Mesmo considerando os limites inferiores nas estimativas para as fontes fixas, a contribuição ainda continua expressiva, com o NO_x sendo o único poluente que praticamente seria superado pelas emissões veiculares. Na Figura 12 os limites inferiores e superiores estimados para as emissões por fontes fixas são comparados aos valores estimados para os veículos (MMA, 2011).

Estimativas totais de emissões antropogênicas realizadas em outras partes do mundo (Lu et al., 2011), por exemplo, para a China (Índia), dão conta de 4,03 (2,74)

Tg/ano para TOC e 30,8 (8,8) Tg/ano para SO₂. Se considerada a soma da contribuição inventariada neste trabalho com a dos veículos chega-se a 1,37 e 1,51 Tg/ano para TOC e SO_x, respectivamente. Considerando que o consumo energético desses países é cerca de 8 (China) e 3 (Índia) vezes o consumo brasileiro, observa-se que os valores de emissão de TOC por unidade de energia consumida estimados neste trabalho são razoavelmente superiores àqueles observados nos países asiáticos, enquanto que para as estimativas de SO_x os valores são significativamente inferiores.

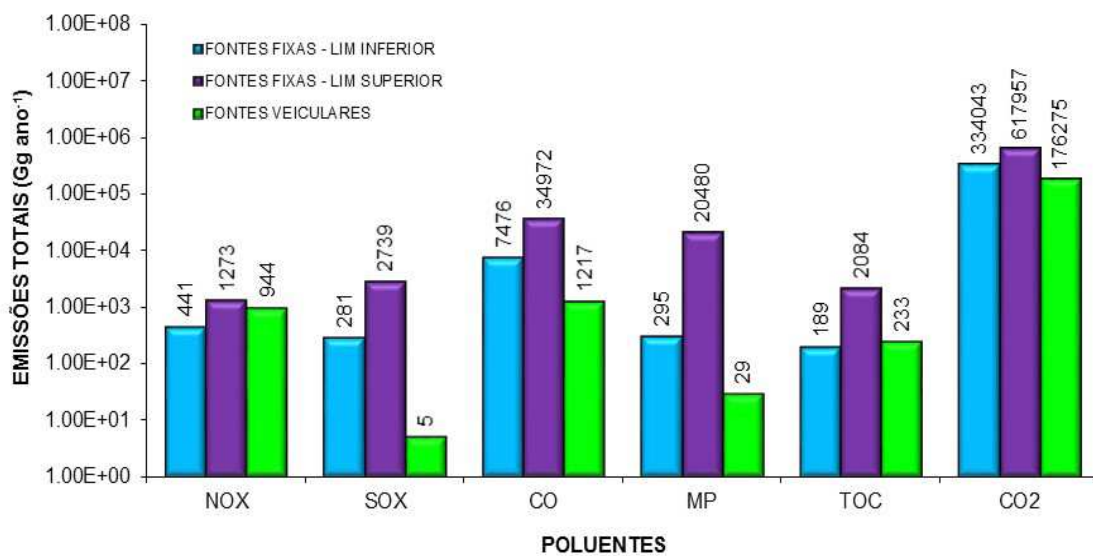


Figura 12. Limites inferior e superior das emissões estimadas para fontes fixas e estimativas das emissões veiculares.

Para o caso do SO_x deve ser levado em conta que as UTE a carvão, inventariadas neste trabalho, são as que apresentam os maiores limites superiores para emissão de SO_x. Se considerado o fato de que tanto China quanto Índia dependem fortemente do uso de UTE a carvão para geração de eletricidade e que termoelétricas são a principal fonte de SO_x nos países asiáticos (Lu et al., 2011), as diferenças encontradas podem ser explicadas. Ainda para o caso da China, de acordo com Zhang et al. (2007), tanto medidas da concentração de NO_x, quanto estimativas por satélite da coluna de NO₂ tem confirmado aumento na emissão desses óxidos, cujos valores anuais de emissão foram estimados em 18,6 Tg/ano, usando como referência o ano de 2004, valor também proporcionalmente superior ao estimado neste trabalho, porém dentro de diferenças aceitáveis.

Finalmente deve ser considerado que a falta de informação sobre o conteúdo de enxofre dos combustíveis, bem como o uso de tecnologias empregadas na retenção de poluentes, impede que se estimem valores com menor faixa de incerteza. Outro aspecto importante, conforme aponta Szklo (2007), é que 70% do mercado brasileiro de diesel está destinado às áreas rurais. Isso significa que a não existência de inventário sobre as emissões associadas à atividade agrícola implica em estimativas subestimadas para a emissão de SO_x no caso das emissões brasileiras. Até recentemente havia diferença no conteúdo de enxofre de cada tipo de diesel, mas atualmente trata-se de um mesmo diesel, com conteúdo de enxofre muito inferior ao do passado recente. Juntamente com as recentes reduções nos níveis de enxofre da gasolina, essa redução do enxofre presente no combustível pode implicar em aumento nas emissões de enxofre por parte das refinarias. No caso das emissões de SO_x pelas refinarias observa-se grande distância entre os limites inferior e superior (117 – 1201 Gg/ano), o que implica que talvez seja mais razoável considerar o limite superior dos fatores de emissão recomendados pela AP-42.

Os desafios para a melhoria na qualidade do ar das cidades brasileiras, ou mesmo para evitar a sua deterioração, não são poucos. Com maior rigor na qualidade do combustível, há também mais emissões e maior consumo nas refinarias, valor que pode não estar sendo considerado em termos de valores médios assumidos neste inventário. Outro desafio, conforme apontado por Szklo (2007), é o fato de que a redução no teor de enxofre do diesel e da gasolina implica em diminuição na eficiência dos motores.

Por fim este representa o primeiro inventário espacializado para emissões das principais fontes fixas localizadas em território brasileiro. Os dados encontram-se organizados de tal forma que podem ser prontamente assimilados em modelos de qualidade do ar. As estimativas foram feitas com base em fatores limiares, o que permite ao usuário definir em quais condições intermediárias pretende considerar as emissões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, M.F., LONGO, K M., FREITAS, S.R., FONSECA, R.M., MARÉCAL, V., PIRRE, M., KLENNER, L.G. An urban emissions inventory for South America and its application in numerical modeling of atmospheric chemical composition at local and regional scales. **Atmospheric Environment**, v. 44, n. 39, p. 5072-5083, 2010.

ATKINSON, R. Atmospheric chemistry of VOCs and NOx. **Atmospheric Environment**, v. 34, n.12, p. 2063-2101, 2000.

ATILH, Hydraulic Binder Industries Union. **Environmental Inventory of French cement production**. Paris: Association Technique des Liants Hydrauliques. 2002.

BUTLER, T.M., LAWRENCE, M.G., GURJAR, B.R., VAN AARDENNE, J., SCHULTZ, M., LELIEVELD, J. The representation of emissions from megacities in global emission inventories. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 4, p. 703-719, 2008.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; BARROS, M.T.L.; VERAS, M.S.; PORTO, M.F.A.; NUCCI, N.L.R. JULIANO, N.M.A.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Prentice Hall, 2. ed. São Paulo, 2005.

BARCELLOS. C., MONTEIRO, A.M.V., CORVALAN, C., GURGEL, H.C., CARVALHO, M.S., ARTAXO, P., RAGONI, V.. Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 18, n. 3, p. 285-304, 2009.

BRIMBLECOMBE, P. The Big Smoke: **A History of Air Pollution in London since Medieval Times**. Methuen: London, United Kingdom, 1987.

CARVALHO, J.A.; LACAVAL, P.T. **Emissões em Processos de Combustão**. Editora Unesp, São Paulo. 2003.

CAVALCANTI, P. M. S. **Avaliação dos Impactos Causados na Qualidade do Ar pela Geração Termelétrica**. 2003. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE), Universidade Federal d Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

CHEM, C., HABERT, G., BOUZIDI, Y., JULLIEN, A. Environmental impact of cement production: detail of the different processes and cement plant variability evaluation. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 5, p. 478-485, 2010.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Poluentes**. Emissão Veicular. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>> Acesso em: 6 de maio de 2014.

D'ANGIOLA, A., DAWIDOWSKI, L.E., GÓMEZ, D. R., OSSES, M. On-road traffic emissions in a megacity. **Atmospheric Environment**, v. 44, n. 4, p. 483-493, 2010.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. CETESB. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo**. 2000. São Paulo: CETESB, 2001.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB, **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**. 1º Relatório de Referência do Estado de São Paulo de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, período de 1990 – 2008 - Inventário das Emissões Atmosféricas de Gases de Efeito Estufa associadas aos Processos Industriais da Produção de Papel e Celulose do Estado de São Paulo no período entre 1990 e 2008 - Programa de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo – PROCLIMA, Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br/proclima> Acesso em: 24 de janeiro de 2014.

CONEY, M.W., LINNERNANN, C., ABDALLAH, H.S. A thermodynamic analysis of a novel high efficiency reciprocating internal combustion engine—the isoengine Energy, 29 (2004), pp. 2585–2600

DELUCHI, M.A. Emissions from the production, storage, and transport of crude oil and gasoline. **Air & Waste**, v.43, n.11, p.1486-1495, 1993.

EPA. U.S. Environmental Protection Agency. “AP-42: Compilation of Air Pollutant Emission Factors. Volume I: Stationary Point and Area Sources. **Chapter 1: External Combustion Sources**.” 5th Edition, USEPA, 1998.

EPA. U. S. Environmental Protection Agency. Handbook for criteria Pollutant Inventory Development: **A Beginner’s Guide for Point and Area Sources**, 1999.

EPA. U. S. Environmental Protection Agency. “AP-42: Compilation of Air Pollutant Emission Factors. Volume I: Stationary Point and Area Sources. **Chapter 3: Stationary Internal Combustion Sources**”. 5th Edition, USEPA, 2000.

EPA. U. S. Environmental Protection Agency. Emission Inventory Improvement Program. “**Volume II: Introduction to the Stationary Point Source Emission Inventory Development**”. USEPA, 2011.

EPA. U. S. Environmental Protection Agency. Compilation of air pollution emission factors. **Volume I: Stationary point and area sources (5th edition)**. AP-42. : U. S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC. 1995.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Relatório Final do Balanço Energético Nacional (Brasil): Ano base 2009. Rio de Janeiro: 276p. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 20 de novembro de 2014

ELETROBRÁS – CENTRAIS ELÉTRICAS, S. A. Metodologia de valoração das externalidades ambientais da geração hidrelétrica e termelétrica com vistas à sua incorporação no planejamento de longo prazo do setor elétrico. Rio de Janeiro. 2000.

GALHARDO, L., ESCRIBANO, J., DAWIDOWSKI, L., ROJAS, N., de Fátima Andrade, M. F., OSSES, M.. Evaluation of vehicle emission inventories for carbon monoxide and nitrogen oxides for Bogotá, Buenos Aires, Santiago, and São Paulo. **Atmospheric Environment**, v. 47, p. 12-19, 2012.

GUARIEIRO, L.L.N.; GUARIEIRO, A.L.N. Vehicles emissions: What will change with the se of biofuel? In: FANG, Z. (Ed.). Biofules – **Economy, Environment and Sustainability**, 2013.

GOLDEMBERG, J. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: EDUSP, 1998.

GURJAR, B.R., MOLINA, L.T., OJHA, C.S.P. **Air Pollution: Health and Environmental Impacts**. Taylor & Francis Group, Broken Sand Parkway NW, USA, 2010.

IPCC. Intergovernmental Panel On Climate Change. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. 2006.

IPCC. Intergovernmental Panel On Climate Change. **Summary for Policymakers**. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working

Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013

IPCC. Intergovernmental Panel On Climate Change **the physical science basis**. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., ... & Midgley, B. M. 2013.

KLABIN. Segundo Relatório Anual de Sustentabilidade da Klabin. **Coordenação Geral de Comunicação e Responsabilidade Social**. Disponível em: <www.klabin.com.br> Acesso em: 20 de novembro de 2014.

KUROKAWA, J., OHARA, T., MORIKAWA, T., HANAYAMA, S., GREET, J.M., FUKUI, T., KAWASHIMA, K., AKIMOTO, H.: Emissions of air pollutants and greenhouse gases over Asian regions during 2000–2008: Regional Emission inventory in Asia (REAS) version 2. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v.13, n. 21, p.11019-11058, 2013.

LU, Z., STREETS, D.G., ZHANG, Q., WANG, S., CARMICHAEL, G. R., CHENG, Y.F., WEI, C., CHIN, M., DIEHL, T., TAN, Q. Sulfur dioxide emissions in China and sulfur trends in East Asia since 2000, **Atmospheric Chemistry and Physics**, v.10, n.13, p.6311-6331, 2010.

LU, Z., ZHANG, Q., STREETS, D.G.: Sulfur dioxide and primary carbonaceous aerosol emissions in China and India, 1996–2010, **Atmospheric Chemistry and Physics**, v.11, n.18, p.9839-9864, 2011.

LUCON, O.S. **Modelo Hórus Inventário de Emissões de Poluentes Atmosféricos pela Queima de Combustíveis em Indústrias no Estado de São Paulo**. 2003. 244 f. Tese (Doutorado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

MARENGO, J.A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. MMA, Ministério do Meio Ambiente, 2006.

MARSHALL, J.D.; NETHERY, E.; BRAUER, M. Within-urban variability in ambient air pollution: comparison of estimation methods. **Atmospheric Environment**, v.42, n.6, p.1359-1369, 2008.

MARTINS, J. Motores de Combustão Interna. 2ª Ed. **Publindústria** Edições Técnicas, Portugal, 2006.

MARTINS, L. D. **Sensibilidade da Formação de Ozônio Troposférico às emissões veiculares na Região Metropolitana de São Paulo**. 2006. 198 f. São Paulo. Tese (Doutorado do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas) - Universidade de São Paulo.

MESQUITA, S. **Modelação da distribuição especial da qualidade do ar em Lisboa usando sistemas de informação geográfica**. 119 f. Dissertações (Mestrado em Ciências e Sistemas de Informação Geográficas) - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. 2009.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários** – Relatório final. Brasília, DF, 114 pp. 2013.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Resolução CONAMA nº 003, de 28 de junho de 1990**. Dispõe sobre o estabelecimento de padrões nacionais de qualidade do ar determinando as concentrações de poluentes atmosféricos. In: MMA. Livro das Resoluções do CONAMA. Brasília, 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano>. Acesso em: 21 out. 2014.

MYERS, R. E. **Methodologies to estimate emissions**. In: The emissions inventory: programs & progress (VIP-56) – specialty conference. Research Triangle Park, NC: EPA. Proceedings. p. 609- 615. 1995.

NIER (*National Institute of Environmental Research of Korea*): **Annual Report for The 5th year's Joint Research on Long-range Transboundary Air Pollutants in Northeast Asia**, Government Publication Registration Number: 11-1480083-000286-10, 277 p. 2005.

OLIVEIRA, J.L.F. **Poluição Atmosférica e o Transporte Rodoviário: Perspectivas de Uso do Gás Natural na Frota de Ônibus Urbanos da Cidade do Rio de Janeiro**. 1997. 124 f. Tese (Doutorado – COPPE) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PACHECO-SANCHEZ, J.H.; ALI MANSOORI, G. Prediction of the phase behavior of asphaltene micelle/aromatic hydrocarbon systems. **Petroleum science and technology**, v.16, n.3-4, p.377-394, 1998.

PATZ, J.A., CAMPBELL-LENDRUM, D., HOLLOWAY, T., FOLEY, J.A.. Impact of regional climate change on human health. **Nature**, v. 438, n. 7066, p. 310-317, 2005.

PIRES, O.D. **Inventário de Emissões Atmosféricas de Fontes Estacionárias e sua Contribuição para a Poluição do Ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. 2005. 194 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SOURCE EMISSION. Test Report For Riley Stoker Corporation: Particulate Emissions From the Bagasse Fired Boilers at Aguirre, Fajardo and Mercedita, Puerto Rico, Galson Technical Services, East Syracuse, NY, July 1976.

SCHIRMER, W.N., LISBOA, H.M. **Química da Atmosfera Constituintes Naturais, Poluentes e Suas Reações**. *Tecno-lógica*, v. 12, n. 2, p. 37-46, 2009.

SEINFELD H.J. & PANDIS, N.S. **Atmospheric Chemistry and Physics**. John Wiley & Sons, Inc., New York. 2006.

SNYDER, R. B., Alternative Control Techniques Document—NO_x Emissions from Stationary Reciprocating Internal Combustion Engines, EPA-453/R-93-032, U. S. Environmental Protection Agency, **Research Triangle Park**, July 1993.

SZKLO, A.; SCHAEFFER, R., DELGADO, F. Can one say ethanol is a real threat to gasoline?. **Energy Policy**, v. 35, n. 11, p. 5411-5421, 2007.

TAYLOR, A.M.. Science review of internal combustion engines. **Energy Policy**, v. 36, n. 12, p. 4657-4667, 2008.

TAŞDEMIROĞLU, E. Air Pollutant Emissions Due To Energy Utilization in Turkey. **Energy**, v. 17, n. 1, p. 95-97, 1992.

VALEK, H. **The Global Atmospheric Pollution Forum Air Pollutant Emissions Inventory Manual**. United Nations Development Programme. Version 1.7. 2010.

USEPA. United States Environmental Protection Agency: Compilation of air pollutant emission factors (AP-42) Volume 1: Stationary point and area sources, US Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, 1995

WALLACE, J. M. & HOBBS, P. V. **Atmospheric Science – An Introductory Survey**. 2. Ed. San Diego: Elsevier, 483 p. 2006.

WANG, Y. The analysis of the impacts of energy consumption on environment and public health in China. **Energy**, v. 35, n. 11, p. 4473-4479, 2010.

WERTHER, J., SAENGER, M., HARTGE, E.U., OGADA, T., SIAGI, Z., Combustion of agricultural residues. **Progress in Energy and Combustion Science** 26 (1), 1–27. 2000.

WERTHER, J. et al. Combustion of agricultural residues. **Progress in energy and combustion science**, v. 26, n. 1, p. 1-27, 2000.

WORREL, E.; LYNN P.; MARTIN, N., HENDRIKS.; MEIDA, L. O. **Carbon dioxide emissions from the global cement industry**. Annu. Rev. Energy Environ, 2001.

ZHANG, Q., STREETS, D. G., HE, K. B., WANF, Y., RICHTER, A., BURRWS, J. P., UNO, I., JANG, C. J., CHEN, D., YAO, Z., and Lei, Y.: **NO_x emission trends for China**, 1995–2004: The view from the ground and the view from space, J. Geophys. Res., 112, D22306, doi:10.1029/2007JD008684, 2007.

ZHAO, B., Wang, S. X., Liu, H., Xu, J. Y., Fu, K., Klimont, Z., Hao, J. M., He, K. B., Cofala, J., and Amann, M.: NO_x emissions in China: historical trends and future perspectives, **Atmos. Chem. Phys.**, 13, 9869-9897, doi:10.5194/acp-13-9869-2013, 2013.

APÊNDICE – A Tabelas relacionadas aos dados de fontes fixas inventariadas.

Tabela 18. Lista das indústrias de papel e celulose no Brasil, representando as coordenadas geográficas e sua produção, em gigagramas por ano.

Nome	Latitude	Longitude	Atividade (Gg/ano)
CELULOSE IRANI S.A. – 7 -SC	-26,241	-49,480	32,10
CELULOSE IRANI S.A. – 8 - SC	-26,872	-51,793	32,10
CELULOSE IRANI S.A. – 11 - RS	-30,201	-50,344	32,10
FIBRIA – 2 - ES	-19,844	-40,269	575,85
FIBRIA – 3 - SP	-23,371	-46,027	575,85
FIBRIA – 4 - MS	-20,997	-51,795	575,85
FIBRIA - 5 - SP	-24,005	-48,327	575,85
FIBRIA – 6 - RS	-31,771	-52,458	575,85
FIBRIA – 7 - ES	-18,522	-39,759	575,85
FIBRIA – 8 -BA	-17,887	-39,841	575,85
FIBRIA – 9 - MS	-20,898	-51,758	575,85
INTERNATIONAL PAPER – 2 - SP	-22,134	-47,002	270,21
INTERNATIONAL PAPER – 3 - SP	-21,485	-47,767	270,21
INTERNATIONAL PAPER – 4 - MS	-20,761	-51,726	270,21
JARI CELULOSE - PA	-0,925	-52,432	390,35
KLABIN 2 - SP	-22,686	-47,675	88,04
KLABIN 3 - SP	-23,482	-48,409	88,04
KLABIN 4 - MG	-19,994	-44,193	88,04
KLABIN 5 - SC	-27,547	-50,364	88,04
KLABIN 6 - BA	-12,294	-38,965	88,04
KLABIN 7 - PE	-7,589	-35,006	88,04
KLABIN 8 - RJ	-22,589	-43,017	88,04
KLABIN 9 - SC	-26,895	-48,711	88,04
KLABIN 10 - SP	-23,225	-47,027	88,04
KLABIN 11 - SP	-23,172	-46,929	88,04
KLABIN 12 - SC	-27,803	-50,363	88,04
KLABIN 13 - SC	-27,751	-50,338	88,04
KLABIN 14 - PR	-24,307	-50,610	88,04
KLABIN 15 - SC	-27,513	-50,116	88,04
KLABIN 16 - SP	-22,687	-47,675	88,04
KLABIN 17 - MG	-20,422	-42,899	88,04
KLABIN 18 - RS	-29,782	-51,120	88,04
LWARCEL - SP	-22,571	-48,777	223,01
MELHORAMENTOS PAPÉIS - SP	-23,540	-46,270	65,43
MELHORAMENTOS PAPÉIS - SP	-23,370	-46,759	65,43
NOBRECEL - SP	-22,900	-45,349	61,79
PRIMO TEDESCO - SC	-26,783	-51,044	29,64

PRIMO TEDESCO - RS	-29,962	-51,190	29,64
SANTHER -SP	-23,533	-46,548	50,00
SANTHER - MG	-18,717	-42,238	50,00
SANTHER - RS	-30,168	-51,334	50,00
SANTHER - SP	-22,903	-46,547	50,00
SUZANO - SP	-23,521	-46,296	302,90
SUZANO - SP	-23,496	-46,330	302,90
SUZANO - SP	-23,664	-46,851	302,90
SUZANO - SP	-22,569	-47,405	302,90
SUZANO - BA	-12,867	-38,383	302,90
SUZANO - BA	-18,040	-39,924	302,90
SUZANO - MA	-5,546	-47,468	302,90
CENIBRA -MG	-19,220	-42,483	165,50
CENIBRA -MG	-19,223	-42,477	165,50
CENIBRA - MG	-19,320	-42,392	165,50
CENIBRA - MG	-19,320	-42,369	165,50
CENIBRA -MG	-19,419	-42,407	165,50
CENIBRA - MG	-19,769	-43,028	165,50
CENIBRA - ES	-19,832	-40,064	165,50
GRUPO ORSA - SP	-23,509	-46,872	109,62
IGUAÇU -PR	-25,532	-49,204	28,20
IGUAÇU -PR	-24,510	-49,952	28,20
IGUAÇU -SC	-27,398	-51,238	28,20
IGUAÇU -SC	-27,168	-50,798	28,20
NORSKE SKOG PISA -PR	-24,282	-49,737	173,81
STORA ENSO - SP	-23,562	-46,661	82,41
VERACEL - BA	-16,371	-39,589	550,18

Tabela 19. Lista das refinarias do Brasil, representando as coordenadas geográficas e o petróleo refinado, em 10^6 metros cúbicos por ano.

Nome	Latitude	Longitude	Atividade (10^6 m ³ /ano)
DAX OIL REFINO S.A. (DAX OIL)	-12,623	-38,092	0,39
LUBRIFICANTES E DERIVADOS DE PETRÓLEO DO NORDESTE (LUBNOR)	-3,717	-38,471	2,57
REFINARIA DE PETRÓLEO DE MANGUINHOS S.A. (MANGUINHOS)	-22,887	-43,237	3,70
REFINARIA DE CAPUAVA (RECAP)	-23,640	-46,485	15,81
REFINARIA DUQUE DE CAXIAS (REDUC)	-22,716	-43,266	80,06
REFINARIA ALBERTO PASQUALINI (REFAP)	-29,873	-51,167	55,13
REFINARIA GABRIEL PASSOS (REGAP)	-19,972	-44,096	49,09
REFINARIA ISAAC SABÁ (REMAN)	-3,147	-59,954	15,70
REFINARIA PRESIDENTE GETÚLIO VARGAS (REPAR)	-25,569	-49,363	71,58
REFINARIA DE PAULÍNIA (REPLAN)	-22,729	-47,136	139,64

REFINARIA HENRIQUE LAGE (REVAP)	-23,190	-45,818	88,94
REFINARIA DE PETRÓLEO RIOGRANDENSE S.A. (RIOGRANDENSE)	-32,043	-52,090	5,57
REFINARIA LANDULPHO ALVES (RLAN)	-12,710	-38,573	87,80
REFINARIA PRESIDENTE BERNARDES (RPBC)	-23,872	-46,436	55,87
REFINARIA POTIGUAR CLARA CAMARÃO (RPCC)	-5,132	-36,385	12,62
UNIVEN REFINARIA DE PETRÓLEO LTDA (UNIVEN)	-23,139	-47,025	1,92

Tabela 20. Lista de indústrias de cimento no Brasil, representando as coordenadas geográficas e a produção, em gigagramas por ano.

Nome	Latitude	Longitude	Atividade (Gg/ano)
VOTORANTIM 1 - CE	-3,551	-38,827	755,56
VOTORANTIM 2 - CE	-3,686	-40,374	755,56
VOTORANTIM 3 - GO	-15,621	-47,865	755,56
VOTORANTIM 4 - GO	-17,424	-49,665	755,56
VOTORANTIM 5 - MT	-15,597	-55,963	755,56
VOTORANTIM 6 - MT	-14,738	-56,325	755,56
VOTORANTIM 7 - MS	-19,021	-57,626	755,56
VOTORANTIM 8 - MS	-20,535	-54,582	755,56
VOTORANTIM 9 - MG	-20,759	-46,765	755,56
VOTORANTIM 10 - PR	-25,192	-49,304	755,56
VOTORANTIM 11 - PA	-1,535	-48,615	755,56
VOTORANTIM 12 - PE	-0,946	-47,114	755,56
VOTORANTIM 13 - PE	-7,884	-40,077	755,56
VOTORANTIM 14 - PE	-7,934	-34,868	755,56
VOTORANTIM 15 - RS	-31,563	-53,718	755,56
VOTORANTIM 16 - RS	-29,999	-51,654	755,56
VOTORANTIM 17 - RS	-29,849	-51,189	755,56
VOTORANTIM 18 - RS	-31,583	-53,377	755,56
VOTORANTIM 19 - RJ	-21,981	-42,359	755,56
VOTORANTIM 20 - RJ	-22,884	-43,726	755,56
VOTORANTIM 21 - RJ	-22,502	-44,128	755,56
VOTORANTIM 22 - RO	-8,736	-63,818	755,56
VOTORANTIM 23 - SC	-28,438	-48,965	755,56
VOTORANTIM 24 - SC	-28,233	-48,661	755,56
VOTORANTIM 25 - SC	-26,860	-48,667	755,56
VOTORANTIM 26 - SC	-28,426	-48,939	755,56
VOTORANTIM 27 - SE	-10,798	-37,166	755,56
VOTORANTIM 28 - SP	-24,111	-48,371	755,56
VOTORANTIM 29 - SP	-23,515	-46,884	755,56
VOTORANTIM 30 - SP	-23,367	-46,879	755,56
VOTORANTIM 31 - SP	-23,856	-46,412	755,56
VOTORANTIM 32 - SP	-23,986	-48,917	755,56
VOTORANTIM 33 - SP	-22,583	-47,358	755,56
VOTORANTIM 34 - SP	-23,648	-47,551	755,56
VOTORANTIM 35 - SP	-23,561	-47,432	755,56
VOTORANTIM 36 - TO	-6,433	-48,429	755,56
LAFARGE BRASIL S.A 01 - PB	-7,515	-34,906	777,78
LAFARGE BRASIL S.A 02 - BA	-12,648	-38,544	777,78
LAFARGE BRASIL S.A 03 - GO	-15,789	-48,770	777,78
LAFARGE BRASIL S.A 04 - MG	-19,780	-43,956	777,78
LAFARGE BRASIL S.A 05 - MG	-19,531	-44,094	777,78
LAFARGE BRASIL S.A 06 - MG	-16,705	-43,895	777,78

LAFARGE BRASIL S.A 07 - MG	-20,294	-45,552	777,78
LAFARGE BRASIL S.A 08 - RJ	-21,980	-42,363	777,78
LAFARGE BRASIL S.A 09 - SP	-23,996	-48,866	777,78
CIA DE CIMENTOS ITAMBÉ - PR	-25,576	-49,645	1300,00
CCB-CIMPOR CIMENTOS DO BRASIL LTDA 01 - BA	-14,186	-41,667	1575,75
CCB-CIMPOR CIMENTOS DO BRASIL LTDA 02 -SP	-24,702	-48,117	1575,75
CCB-CIMPOR CIMENTOS DO BRASIL LTDA 03 - BA	-10,517	-40,330	1575,75
CCB-CIMPOR CIMENTOS DO BRASIL LTDA 04 - RS	-31,307	-54,112	1575,75
CCB-CIMPOR CIMENTOS DO BRASIL LTDA 05 -GO	-16,976	-49,769	1575,75
CCB-CIMPOR CIMENTOS DO BRASIL LTDA 06 - PB	-7,161	-34,922	1575,75
CCB-CIMPOR CIMENTOS DO BRASIL LTDA 07 - RS	-29,846	-51,268	1575,75
CCB-CIMPOR CIMENTOS DO BRASIL LTDA 08 -AL	-9,773	-36,110	1575,75
CIMENTOS NASSAU 01 - PI	-7,080	-40,468	711,11
CIMENTOS NASSAU 02 -MA	-4,475	-43,884	711,11
CIMENTOS NASSAU 03 -RN	-5,124	-37,279	711,11
CIMENTOS NASSAU 03 -PE	-8,011	-34,909	711,11
CIMENTOS NASSAU 04 -SE	-10,852	-37,125	711,11
CIMENTOS NASSAU 05 -ES	-20,856	-41,131	711,11
CIMENTOS NASSAU 06 -CE	-7,299	-39,303	711,11
CIMENTOS NASSAU 10 -PA	-1,208	-47,170	711,11
CIMENTOS NASSAU 07 -AM	-3,056	-59,850	711,11
CIMENTOS NASSAU 08 -PA	-4,267	-56,007	711,11
CIMENTOS NASSAU 09 -PA	-1,430	-48,438	711,11
HOLCIM BRASIL S.A. - CIMENTO - CANTAGALO -RJ	-21,977	-42,286	371,43
HOLCIM BRASIL S.A. - CONCRETO - DIVINÓPOLIS -MG	-20,161	-44,892	371,43
HOLCIM BRASIL S.A. - CONCRETO - GUARUJÁ -SP	-23,959	-46,256	371,43
HOLCIM BRASIL S.A. - CONCRETO - JUIZ DE FORA -MG	-21,753	-43,389	371,43
HOLCIM BRASIL S.A. - AGREGADOS - MAGÉ -RJ	-22,654	-43,053	371,43
HOLCIM BRASIL S.A. - AGREGADOS - MAIRIPORÁ - SP	-23,336	-46,586	371,43
HOLCIM BRASIL S.A. - CIMENTO - PEDRO LEOPOLDO -MG	-19,624	-44,041	371,43
HOLCIM BRASIL S.A. - CONCRETO - POUSO ALEGRE - MG	-22,231	-45,920	371,43
HOLCIM BRASIL S.A. - CONCRETO - RIBEIRÃO PRETO -SP	-21,179	-47,868	371,43
HOLCIM BRASIL S.A. - CONCRETO - SÃO JOSÉ DOS CAMPOS -SP	-23,209	-45,926	371,43
HOLCIM BRASIL S.A. - CONCRETO - SÃO VICENTE -SP	-23,959	-46,423	371,43
HOLCIM BRASIL S.A. - CIMENTO - VITÓRIA -ES	-20,242	-40,239	371,43
HOLCIM BRASIL S.A. - AGREGADOS - SOROCABA -SP	-23,485	-47,469	371,43
HOLCIM BRASIL S.A. - CIMENTO - SOROCABA -SP	-23,475	-47,487	371,43
CIPLAN CIMENTO 01 -SP	-21,180	-47,846	200,00
CIPLAN CIMENTO 02 -MG	-19,727	-47,957	200,00
CIPLAN CIMENTO 03 -MG	-18,862	-48,283	200,00
CIPLAN CIMENTO 04 -SP	-16,403	-48,934	200,00
CIPLAN CIMENTO 04 -GO	-17,741	-48,638	200,00

CIPLAN CIMENTO 05 -GO		-16,709	-49,206	200,00
CIPLAN CIMENTO 06 -GO		-16,065	-47,966	200,00
CIPLAN CIMENTO 07 -MT		-15,655	-55,992	200,00
CIPLAN CIMENTO 08 -TO		-10,251	-48,316	200,00
CIPLAN CIMENTO 09 -MA		-2,578	-44,185	200,00
CIPLAN CIMENTO 10 -CE		-3,822	-38,534	200,00
INTERCEMENT - (CAUÊ)	GRUPO			
CAMARGO CORRÊA 01 - SP		-24,520	-48,857	3233,33
INTERCEMENT - (CAUÊ)	GRUPO			
CAMARGO CORRÊA 02 - MS		-20,540	-56,712	3233,33
INTERCEMENT - (CAUÊ)	GRUPO			
CAMARGO CORRÊA 03 - MG		-19,647	-44,039	3233,33
INTERCEMENT - (CAUÊ)	GRUPO			
CAMARGO CORRÊA 04 - MG		-19,473	-42,511	3233,33
INTERCEMENT - (CAUÊ)	GRUPO			
CAMARGO CORRÊA 05 -SP		-23,288	-45,981	3233,33
INTERCEMENT - (CAUÊ)	GRUPO			
CAMARGO CORRÊA 06 -MG		-21,194	-44,938	3233,33

Tabela 21. Lista de usinas termelétricas do Brasil movidas a bagaço de cana-de-açúcar, representando as coordenadas geográficas e a potência fiscalizada, em megawatts.

Nome	Latitude	Longitude	Potência Fiscalizada (MW)
ALTA MOGIANA	-20,568	-47,869	75,0
BARRALCOOL	-15,034	-57,214	30,0
BATATAIS	-20,746	-47,569	3,9
CAETÉ	-9,776	-36,087	35,8
COLOMBO ARIRANHA	-21,213	-48,842	105,5
CORONA	-21,364	-48,239	18,0
ESTER	-22,657	-47,211	46,4
CENTRAL ENERGÉTICA RIBEIRÃO PRETO (ANTIGA GALO BRAVO)	-21,141	-47,879	9,0
GALVANI	-22,759	-47,155	11,5
IRACEMA	-22,586	-47,529	14,0
VIRGOLINO DE OLIVEIRA - ITAPIRA	-22,412	-46,809	5,8
JARDEST	-21,032	-47,776	8,0
JUNQUEIRA	-20,049	-47,748	7,2
MARACAÍ	-22,576	-50,657	46,8
MB	-20,730	-48,055	16,4
NARDINI	-21,185	-48,654	54,0
SANTA CRUZ AB (ANTIGA OMETTO)	-21,755	-48,078	86,4
USINA DA PEDRA	-21,241	-47,567	35,0
RAFARD	-23,009	-47,532	50,0
UNIVALEM	-23,009	-47,532	8,0
PUMATY	-8,628	-35,529	8,0
VALE DO ROSÁRIO	-20,741	-48,055	97,0
VIRALCOOL	-21,049	-48,262	20,0
SÃO JOÃO	-22,429	-47,360	12,0

SÃO JOSÉ	-22,492	-48,782	84,8
SÃO JOSÉ	-22,861	-47,624	4,8
SÃO LUIZ	-22,026	-47,429	70,4
SÃO MARTINHO	-21,320	-48,120	73,0
BARRA GRANDE DE LENÇÓIS	-22,628	-48,752	62,9
LDC BIOENERGIA LEME (ANTIGA COINBRA - CRESCIUMAL)	-22,205	-47,387	39,6
J PILON	-23,171	-47,746	3,8
SÃO FRANCISCO	-21,109	-48,079	25,2
LUCÉLIA	-21,724	-51,021	15,7
BORTOLO CAROLO	-21,009	-47,994	8,0
FURLAN	-22,764	-47,412	3,6
SANTA ADÉLIA	-21,252	-48,326	42,0
RUETTE	-21,045	-48,720	28,0
IPIRANGA FILIAL DESCALVADO	-21,911	-47,617	3,0
IPIRANGA - MOCOCA	-21,467	-47,002	4,2
SÃO MANOEL	-22,742	-48,570	14,8
ALBERTINA	-21,147	-47,989	4,3
SANTA ELISA - UNIDADE II	-21,151	-48,008	4,0
PAINEIRAS	-21,012	-40,830	3,2
SÃO JOÃO DA BOA VISTA	-21,975	-46,794	70,0
UNIALCO	-21,264	-50,636	3,6
SANTA CÂNDIDA	-22,154	-48,520	29,0
IBITIÚVA BIOENERGÉTICA (ANTIGA DESTILARIA ANDRADE)	-21,051	-48,264	33,0
MANDU	-20,325	-48,283	90,0
GUARANI - CRUZ ALTA	-20,745	-48,909	64,8
SÃO JOSÉ DA ESTIVA	-21,487	-49,186	42,5
PANTANAL	-15,934	-54,963	5,0
JACIARA	-15,976	-54,951	2,8
BAZAN	-21,008	-48,036	10,2
SÃO DOMINGOS	-21,102	-48,927	12,0
MOEMA	-20,254	-49,292	24,0
DIANA	-21,474	-49,935	2,9
ÁGUA BONITA	-22,737	-50,581	17,0
DESTILARIA GUARICANGA	-22,106	-49,436	1,6
DESTILARIA MALOSSO	-21,566	-48,815	4,0
CORACI	-22,740	-49,732	1,4
TROMBINI	-27,038	-50,909	4,9
BENÁLCOOL	-21,277	-50,820	4,2
SANTA LÚCIA	-22,395	-47,390	4,4
ALCIDIA	-22,539	-52,191	38,1
BELLÃO & SCHIAVON	-21,812	-47,235	0,7
PARAÍSO	-22,265	-48,154	7,7
BELA VISTA	-21,029	-48,054	9,8
ITAIQUARA	-21,455	-46,751	3,2

ÁGUA LIMPA	-20,781	-49,728	2,8
SANTA ROSA	-23,260	-47,639	2,8
SANTA FÉ	-21,769	-48,557	6,4
LWARCEL	-22,547	-48,815	4,0
SANTO ANTÔNIO	-22,660	-47,643	1,2
FLORAPLAC	-2,963	-47,375	1,3
DELOS	-21,162	-47,989	0,7
DELLA COLETTA	-22,081	-48,719	4,0
BARRA	-22,479	-48,545	15,8
BRANCO PERES	-21,689	-51,046	4,0
PEDERNEIRAS	-23,122	-47,719	2,4
GASA	-20,932	-51,379	82,0
URBANO JARAGUÁ	-26,508	-49,110	3,0
COCAL	-22,394	-50,592	28,2
DULCINI	-22,602	-46,936	1,9
DACAL	-21,787	-50,811	4,4
GUARANI	-20,822	-48,821	9,4
URUBA	-9,501	-36,001	10,0
COOCAROL	-23,405	-52,752	4,0
CATANDUVA (ANTIGA CERRADINHO)	-21,135	-48,977	75,0
BOM RETIRO	-22,979	-47,506	3,6
DESTIL	-21,256	-49,140	3,4
FANY	-22,198	-51,292	1,2
PIONEIROS	-20,685	-50,917	42,0
SOBAR	-22,687	-49,419	3,9
ALCOMIRA	-21,121	-51,090	2,4
LONDRA	-23,410	-49,105	3,9
DECASA	-22,816	-50,061	33,0
GUAXUMA	-10,119	-36,165	14,3
FERRARI	-21,984	-47,431	69,5
GENERALCO	-20,641	-50,364	3,8
USINA SÃO LUIZ	-22,971	-49,910	16,0
PANORÂMICA	-23,420	-49,097	3,7
CASA DE FORÇA	-20,273	-50,269	3,9
NOVA TAMOIO	-21,750	-48,181	3,6
DOIS CÔRREGOS	-22,360	-48,393	3,6
DESTILARIA MELHORAMENTOS	-23,633	-52,463	6,4
DESTILARIA PARAGUAÇU	-22,431	-50,584	3,6
CATANDUVA	-21,193	-48,784	9,0
COLORADO	-20,312	-48,299	52,8
NOVA AMÉRICA	-22,745	-50,601	24,0
EQUIPAV	-21,559	-49,869	58,4
IBIRÁ	-21,493	-47,391	8,0
SIDROLÂNDIA (ANTIGA SANTA OLINDA)	-20,910	-54,953	5,4
COOPERNAVI	-23,038	-54,185	12,0

MARACAJÚ	-21,612	-55,182	7,4
PASSA TEMPO	-21,783	-54,531	73,8
JALLES MACHADO	-15,338	-49,107	50,0
GOIANÉSIA	-15,303	-49,128	7,3
SANTA HELENA AÇÚCAR E ÁLCOOL	-17,825	-50,582	4,4
VALE DO VERDÃO	-17,798	-50,332	23,4
GOIASA	-18,024	-49,365	46,5
COPRODIA	-13,678	-57,891	6,0
ITAMARATI	-14,770	-57,282	37,5
SANTA TEREZINHA PARANACITY	-22,937	-52,152	46,0
SANTA TEREZINHA (IVATÉ)	-23,404	-53,379	9,0
PEROBÁLCOOL	-23,889	-53,405	2,4
VALE DO IVAÍ	-23,861	-51,853	18,4
BIO COOPCANA	-23,306	-52,480	50,0
SANTA TEREZINHA	-23,749	-52,880	50,5
SABARÁLCOOL	-23,808	-52,254	4,4
IGUATEMI (ANTIGA SANTA TEREZINHA - IGUATEMI)	-23,402	-51,904	3,4
JACAREZINHO	-23,135	-49,940	4,6
DESTILARIA DE ÁLCOOL IBAITI	-23,817	-50,180	3,6
DACALDA	-23,141	-49,973	2,2
COFERCATU	-22,874	-51,411	4,0
COOPerval	-23,598	-51,657	3,6
SÃO FRANCISCO	-23,042	-47,359	4,2
SANTA RITA	-21,693	-47,491	6,7
TRIÁLCOOL	-18,730	-49,203	15,0
USINA DA SERRA	-21,950	-47,997	15,0
SANTA HELENA	-22,837	-47,600	4,8
MUMBUCA	-22,626	-50,201	0,5
DELTA	-19,973	-47,768	31,9
COSTA PINTO	-22,718	-47,600	75,0
SANTA ELISA - UNIDADE I	-21,134	-47,971	58,0
MORENO	-21,549	-47,702	5,5
CITROSUCO	-21,633	-48,337	7,0
CLEALCO	-21,561	-50,453	11,2
ALCOAZUL	-21,186	-50,467	7,4
QUATÁ	-22,237	-50,708	65,0
ZANIN	-21,837	-48,151	16,0
COINBRA - FRUTESP	-20,933	-48,484	5,0
SANTA MARIA DE LENÇÓIS	-22,571	-48,816	3,0
SANTO ANTÔNIO	-21,142	-48,011	23,0
UFA	-22,160	-51,374	25,2
UJU	-22,851	-51,973	30,0
JB	-8,116	-35,264	33,2
SANTA ISABEL	-21,481	-49,224	46,0

SANTA CLARA	-21,256	-48,345	0,3
SANTA HERMÍNIA	-22,810	-50,069	1,2
CEVASA	-20,630	-47,288	54,0
COOPERFRIGO	-21,562	-49,852	4,0
DESTIVALE	-21,175	-50,448	5,0
GRIZZO	-22,335	-48,547	2,0
VISTA ALEGRE	-23,570	-48,016	35,0
CAMPO FLORIDO	-19,761	-48,575	30,0
CORURIFE ITURAMA	-19,718	-50,193	24,0
CACHOEIRA	-9,612	-35,715	7,4
ARALCO	-20,938	-50,497	4,8
JAPUNGU	-7,206	-34,850	16,8
ITAENGA	-7,934	-35,288	47,0
VOLTA GRANDE	-19,918	-48,367	54,9
MARITUBA	-10,133	-36,650	20,5
SERRA GRANDE	-9,012	-36,057	17,2
CUCAÚ	-8,677	-35,160	12,6
SUMAÚMA	-9,755	-35,841	4,0
PAÍSA	-10,274	-36,543	4,8
CAPRICO	-9,398	-36,146	2,4
LAGINHA-MATRIX	-9,177	-36,015	5,0
GAMELEIRA	-10,640	-51,564	2,0
BAÍA FORMOSA	-6,374	-35,009	40,0
TRAPICHE	-8,594	-35,110	26,0
ESTIVAS	-6,194	-35,162	17,0
CENTRAL OLHO D'ÁGUA	-7,407	-35,275	4,2
UNIÃO E INDÚSTRIA	-8,329	-35,352	4,6
AGROVALE	-9,463	-40,484	14,0
IPOJUCA	-8,396	-35,059	9,2
JITITUBA SANTO ANTÔNIO	-9,308	-35,560	27,4
UNA AÇÚCAR E ENERGIA	-8,758	-35,113	3,0
SINIMBU	-9,778	-36,104	18,0
ARTIVINCO (ANTIGA RIO PARDO)	-21,494	-47,390	4,5
PITANGUEIRAS	-21,001	-48,208	25,0
TERMOCANA	-23,314	-52,476	8,2
DIAMANTE	-22,254	-48,555	7,0
SANTA TERESA	-7,559	-35,021	20,2
VALE DO PARANAÍBA	-18,689	-49,562	5,0
GIASA II	-7,400	-35,095	30,0
SÃO JOSÉ COLINA	-20,707	-48,528	83,0
LASA	-19,374	-40,063	3,2
SÃO JOSÉ	-7,840	-34,901	25,5
SANTO ÂNGELO	-19,913	-48,690	40,0
WD	-17,731	-46,171	6,6
IPAUSSU	-23,034	-49,633	6,0

J L G	-21,517	-48,393	1,6
CANAÃ	-22,408	-50,579	30,0
SERESTA	-9,903	-36,357	9,5
USACIGA	-23,369	-52,931	48,6
DASA	-17,799	-40,251	4,2
ALCON	-18,573	-39,735	11,2
IOLANDO LEITE	-10,506	-37,053	8,0
COOPER-RUBI	-15,167	-49,798	2,4
NOVA GERAÇÃO	-17,040	-50,150	6,2
CORURIFE	-10,131	-36,174	16,0
CRV	-15,356	-49,695	4,0
COINBRA - FRUTESP	-21,607	-48,361	8,0
LAGO AZUL	-17,730	-48,188	2,0
ELDORADO	-21,788	-54,534	25,0
MÜLLER DESTILARIA	-21,845	-47,458	2,2
FRONTEIRA	-20,292	-49,202	2,6
COCAMAR MARINGÁ	-23,377	-51,910	13,0
SÃO TOMÉ	-23,538	-52,592	4,0
FARTURA	-21,192	-49,583	39,4
PETRIBU	-7,926	-35,296	36,5
RIBEIRÃO	-8,512	-35,370	6,4
LIMEIRA DO OESTE	-19,548	-50,583	5,0
QUIRINÓPOLIS	-18,464	-50,460	80,0
VERTENTE	-20,490	-48,936	53,0
FRUTAL	-20,026	-48,885	16,1
OUROESTE	-20,007	-50,366	12,0
ALCOOLVALE	-20,054	-51,111	4,2
TRIUNFO	-9,632	-36,200	14,0
USINA BERTOLO AÇÚCAR E ÁLCOOL	-21,088	-48,654	3,8
CERBA	-22,721	-47,597	0,4
PEDROSA	-8,471	-35,540	4,4
INTERLAGOS	-20,627	-51,085	40,0
BEM BRASIL	-19,633	-46,977	2,1
BURITI	-20,182	-47,717	5,0
CÓRREGO AZUL	-21,560	-49,868	0,5
ITAPAGIPE	-19,899	-49,357	6,0
CEM (ANTIGA CAMEN)	-17,735	-49,136	12,0
CENTRO OESTE IGUATEMI	-23,469	-54,184	4,0
CITROVITA CATANDUVA	-21,125	-48,961	19,8
UNIDADE SANTO INÁCIO - USI	-22,692	-51,785	70,0
BOA VISTA	-18,444	-50,430	80,0
ENERGÉTICA SANTA HELENA	-22,275	-53,368	3,2
SALI	-9,554	-35,742	9,9
VERÍSSIMO	-19,670	-48,308	5,0
CARNEIRINHO	-19,699	-50,677	24,0

SAFI	-21,475	-54,377	4,6
TGN	-23,037	-49,146	1,2
DESTILARIA PORTO ALEGRE	-8,913	-35,726	2,4
IACANGA	-21,899	-49,030	39,0
PIONEIROS II	-20,685	-50,923	35,0
NOVA MORENO	-20,761	-49,699	15,5
POTIRENDABA (ANTIGA CERRADINHO POTIRENDABA)	-21,049	-49,361	40,2
PAU D'ALHO	-22,814	-50,060	4,2
USINA BONFIM	-21,347	-48,226	111,0
JUNCO NOVO	-10,506	-37,053	1,2
ANGÉLICA	-22,167	-53,746	96,0
USINA VALE	-20,616	-49,300	4,4
SÃO JOSÉ DO PINHEIRO	-10,812	-37,170	14,7
USINA MONTE ALEGRE	-21,312	-46,364	18,5
CORURIBE ENERGÉTICA - FILIAL CAMPO FLORIDO	-19,767	-48,583	30,0
CERRADÃO	-20,017	-48,952	54,0
COCAL II	-22,395	-51,521	80,0
PIRAPAMA	-8,112	-35,287	25,0
LDC BIOENERGIA LAGOA DA PRATA (ANTIGA LOUIS DREYFUS LAGOA DA PRATA)	-20,019	-45,514	85,0
LDC BIOENERGIA RIO BRILHANTE (ANTIGA LOUIS DREYFUS RIO BRILHANTE)	-21,787	-54,529	90,0
TOTAL	-20,014	-45,955	25,0
SÃO JUDAS TADEU	-15,342	-43,684	56,0
EQUIPAV II	-21,563	-49,851	80,0
GUARIROBA	-20,186	-49,698	12,0
COMVAP	-4,591	-42,867	8,8
DA MATA	-21,244	-50,870	40,0
NOROESTE PAULISTA	-20,665	-49,925	60,0
UBERABA	-19,748	-47,915	12,0
MONÇÕES	-20,876	-50,129	20,0
USAÇÚCAR - TERRA RICA	-22,701	-52,629	16,5
SANTA INES	-21,135	-48,059	2,6
PINDORAMA	-10,119	-36,168	4,0
LOUIS DREYFUS COMMODITIES AGROINDUSTRIAL	-23,582	-46,832	4,0
VIRGOLINO DE OLIVEIRA - FAZENDA CANOAS	-21,053	-49,698	5,0
AGROALCOOL	-20,749	-49,719	1,2
MONTEVERDE	-22,551	-55,716	20,0
VISTA ALEGRE I (ANTIGA ENERGÉTICA VISTA ALEGRE)	-21,612	-55,180	30,0
PORTO DAS ÁGUAS	-18,411	-52,642	70,0
NOBLE ENERGIA	-20,660	-49,928	30,0
SANTA LUZIA I	-21,453	-54,382	130,0

PORTO ALEGRE	-8,910	-35,714	2,4
CONQUISTA DO PONTAL	-22,271	-51,890	110,0
CAÇÚ I	-18,576	-51,132	130,0
GUAÍRA ENERGÉTICA	-20,313	-48,298	55,0
COLOMBO PALESTINA	-20,390	-49,446	15,0
CACHOEIRA DOURADA	-18,489	-49,470	40,0
VALE DO TIJUCO	-19,741	-47,878	45,0
CLEALCO-QUEIROZ	-21,805	-50,218	45,0
UNIDADE DE BIOENERGIA COSTA RICA	-18,552	-53,139	79,8
UNIDADE DE BIOENERGIA ALTO TAQUARI	-17,812	-53,289	72,7
UNIDADE DE BIOENERGIA ÁGUA EMENDADA	-17,526	-52,085	79,8
UNIDADE DE BIOENERGIA MORRO VERMELHO	-17,581	-52,541	72,7
CHAPADÃO AGROENERGIA	-21,167	-50,181	92,0
JATAÍ	-17,908	-51,682	105,0
SÃO FERNANDO AÇÚCAR E ÁLCOOL	-22,221	-54,723	48,0
VALE DO SÃO SIMÃO	-18,857	-50,131	55,0
BARRA BIOENERGIA	-22,477	-48,537	136,0
BEN BIOENERGIA	-9,915	-36,333	53,0
BIOPAV II	-21,161	-50,183	65,0
BIOENERGÉTICA VALE DO PARACATU - BEVAP	-17,734	-46,172	55,0
RIO PARDO	-23,053	-49,130	60,0
CANABRAVA	-21,673	-41,312	44,0
TROPICAL BIOENERGIA	-17,368	-49,905	55,0
ITUMBIARA	-18,376	-49,204	56,0
ITUIUTABA	-18,965	-49,489	56,0
GUARANI - TANABI	-20,618	-49,665	38,0
TABU	-7,509	-34,878	8,4
CAARAPÓ	-22,610	-54,814	76,0
AMANDINA	-22,306	-53,848	40,0
BIOLINS	-21,675	-49,780	28,0
PASSOS	-20,733	-46,573	14,1
MADECAL	-26,784	-50,955	3,2
SÃO MIGUEL	-9,794	-36,049	13,2
MONTERREY	-23,387	-46,510	3,5
SANTA JULIANA	-19,317	-47,547	88,0
BALDIN	-22,012	-47,446	45,0
LARANJEIRAS	-7,659	-35,322	4,8
MUNDIAL	-21,153	-51,114	3,6
IPAUSSU BIOENERGIA	-23,074	-49,591	76,0
BOM JESUS	-8,267	-35,022	3,2
ITAPURANGA	-15,557	-49,929	2,8
UNIVALEM BIOENERGIA	-21,213	-50,868	45,0

DVPA	-17,237	-46,849	28,0
COLOMBO SANTA ALBERTINA	-20,032	-50,737	50,0
IPÊ (ANTIGA CENI)	-21,117	-51,479	25,0
IACO AGRÍCOLA	-18,803	-52,604	30,0
JOSÉ BONIFÁCIO	-21,054	-49,697	19,0
NOBLE ENERGIA II	-20,353	-50,188	30,0
VICENTINA	-22,404	-54,446	2,0
MERIDIANO	-20,457	-50,207	60,0
BIOENERGÉTICA AROEIRA	-18,621	-48,686	16,0
CODORA	-15,302	-49,084	48,0
VITÓRIA	-8,687	-35,581	4,2
VALE DO IVAÍ - CAMBUÍ	-24,003	-51,822	3,6
CABRERA	-19,542	-50,581	25,0
SALGADO	-8,396	-35,058	3,6
COPLASA	-21,025	-49,919	10,0
CAMPO LINDO	-10,488	-37,192	25,0
MANACÁ	-18,384	-49,202	5,0
BURITI	-20,182	-47,717	50,0
IBÉRIA	-22,252	-50,546	6,5
VIRALCOOL CASTILHO	-20,891	-51,502	50,0
MOGIANA BIO-ENERGIA	-20,587	-47,880	4,0
SELECTA	-18,643	-48,161	11,4
DA PEDRA	-21,175	-47,630	70,0
ROSA SA INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS	-23,275	-47,699	1,3
VALE DO TIJUCO II	-19,701	-47,974	40,0
SÃO FERNANDO ENERGIA I	-22,221	-54,722	50,0
USINA LAGUNA AÇÚCAR E ÁLCOOL	-22,478	-55,746	2,4
UNIDADE BOM SUCESSO	-17,980	-49,375	4,5
PEDRO AFONSO	-8,999	-48,167	80,0
BOM SUCESSO	-17,993	-49,366	1,5
USINA CORURIBE AÇÚCAR E ÁLCOOL	-19,728	-50,225	20,0
RIO VERMELHO	-21,527	-51,439	40,0
PARANAPANEMA	-22,463	-51,761	60,0
FIGUEIRA INDÚSTRIA E COMÉRCIO	-21,077	-50,122	4,4
FISCHER	-22,527	-47,393	5,0
COSTA BIOENERGIA	-23,775	-53,253	15,0
ALCOESTE DESTILARIA FERNANDÓPOLIS	-20,273	-50,246	4,3
TAQUARI	-10,499	-37,060	8,0
PAULICÉIA	-21,305	-51,832	33,8
SÃO SIMÃO	-18,984	-50,575	4,2
BROTAS	-22,267	-48,154	70,0
CONQUISTA DE MINAS	-19,933	-47,539	3,6

ENERVALE	-17,730	-46,153	30,0
VIRÁLCOOL 2	-20,996	-48,219	30,0
ENERGÉTICA ITAJUBARA	-4,237	-43,014	3,2
BIO ALVORADA	-18,426	-49,193	50,0
SÃO MARTINHO ENERGIA	-21,340	-48,116	39,5
UFL	-22,859	-51,387	42,0
UNIÃO	-8,333	-35,354	10,0
USALPA	-21,501	-51,421	3,0
PAM DESTILARIA	-17,219	-46,840	1,2
SANTA MARIA AÇUCAREIRA	-9,046	-35,402	4,6
FURLAN AVARÉ	-23,112	-48,906	30,0
BAMBUÍ	-20,016	-45,981	30,0
CEPASA	-8,127	-34,997	5,0

Tabela 22. Lista de usinas termelétricas do Brasil movidas a gás natural, representando as coordenadas geográficas e a potência fiscalizada, em megawatts.

Nome	Latitude	Longitude	Potência Fiscalizada (MW)
ANAMÃ	-3,616	-61,448	1,3
ANORI	-3,741	-61,659	2,7
ASFOR	-3,756	-38,522	3,4
CAAPIRANGA	-3,756	-38,522	1,3
CAMAÇARI	-12,706	-38,303	130,7
CODAJÁS	-3,839	-62,058	3,7
ENERGY WORKS KAISER PACATUBA	-3,930	-38,607	5,6
GLOBO	-22,789	-43,302	5,2
AURELIANO CHAVES (ANTIGA IBIRITÉ)	-20,029	-44,056	226,0
ILHA PLAZA SHOPPING	-22,989	-43,433	1,3
JUIZ DE FORA	-21,751	-43,360	87,0
NORTE FLUMINENSE	-22,379	-41,798	868,9
CTS-CENTRAL TERMELÉTRICA SUL (ANTIGA RHODIA SANTO ANDRÉ)	-23,647	-46,513	11,0
SOLVAY	-23,624	-46,516	12,6
SUAPE, CGDE, KOBLITZ ENERGIA LTDA	-8,288	-35,034	4,0
SUZANO	-23,553	-46,315	38,4
CELPAV IV	-23,309	-45,962	139,4
URUGUAIANA	-29,776	-57,090	639,9
CUIABÁ (MÁRIO COVAS)	-15,600	-56,065	529,2
CTE II	-22,505	-44,093	178,0
MODULAR DE CAMPO GRANDE (WILLIAN ARJONA)	-20,512	-54,635	206,4

ENERGY WORKS KAISER JACAREÍ	-23,303	-45,967	8,6
SANTA CRUZ	-23,000	-43,422	836,0
CELSO FURTADO (ANTIGA TERMOBAHIA FASE I)	-12,622	-38,679	185,9
BRAHMA	-22,991	-43,402	13,1
REFINARIA DUQUE DE CAXIAS - REDUC	-22,787	-43,297	63,3
UGPU	-23,192	-46,877	7,7
ARAUCÁRIA	-25,573	-49,403	484,2
PROJAC CENTRAL GLOBO DE PRODUÇÃO	-22,998	-43,399	5,0
GOVERNADOR LEONEL BRIZOLA (ANTIGA TERMORIO)	-22,780	-43,316	1058,3
CAMAÇARI	-12,602	-38,304	346,8
CAMPOS (ANTIGA ROBERTO SILVEIRA)	-21,726	-41,311	30,0
BARBOSA LIMA SOBRINHO (ANTIGA ELETROBOLT)	-22,739	-43,709	375,1
RHODIA PAULÍNIA	-22,759	-47,154	12,1
LUIZ CARLOS PRESTES (ANTIGA TRÊS LAGOAS)	-20,775	-51,688	385,8
IGUATEMI FORTALEZA	-3,741	-38,487	4,8
VITÓRIA APART HOSPITAL	-20,116	-40,284	2,1
CESAR PARK BUSINESS HOTEL/GLOBENERGY	-23,435	-46,532	2,1
BAYER	-23,552	-46,634	3,8
EUZÉBIO ROCHA (ANTIGA CUBATÃO - CCBS)	-23,854	-46,415	249,9
CTE FIBRA	-22,379	-41,797	8,8
MÁRIO LAGO (ANTIGA MACAÉ MERCHANT)	-22,378	-41,785	922,6
TERMOPERNAMBUCO	-8,399	-35,061	532,8
TERMO NORTE II	-8,755	-63,862	350,0
SEPÉ TIARAJU (ANTIGA CANOAS)	-29,907	-51,163	248,6
IGUATEMI BAHIA	-12,961	-38,492	8,3
ENERGYWORKS CORN PRODUCTS MOGI	-22,351	-46,943	30,8
ENERGYWORKS CORN PRODUCTS BALSÁ	-25,582	-49,628	9,2
PETROFLEX	-22,763	-43,302	15,0
SHOPPING TABOÃO	-23,618	-46,782	3,4
FERNANDO GASPARIAN (ANTIGA NOVA PIRATININGA)	-23,547	-46,644	386,1
PONTA DO COSTA	-22,797	-42,014	4,0
RÔMULO ALMEIDA UNIDADE I (ANTIGA USINA DE COGERAÇÃO CAMAÇARI - FAFEN ENERGIA)	-12,696	-38,310	138,0
JESUS SOARES PEREIRA	-5,292	-36,755	323,0

CINAL/TRIKEM	-9,716	-35,895	3,2
CARIOCA SHOPPING	-23,011	-43,505	3,2
METALURGIA CARAÍBA	-12,618	-38,295	18,0
MACAÍBA (ANTIGA TERMO TOALIA)	-5,848	-35,354	5,7
TERMOCABO	-8,287	-35,027	49,5
IGW/SERVICE ENERGY	-23,499	-46,630	2,8
STEPIE ULB	-29,901	-51,192	3,3
FORTALEZA	-3,729	-38,659	346,6
TERMOCEARÁ	-3,718	-38,661	219,1
INAPEL	-23,434	-46,553	1,2
EUCATEX	-23,201	-47,296	9,8
JACAREÍ	-23,300	-45,969	10,5
VULCABRÁS	-4,095	-38,493	5,0
CASA DE GERADORES DE ENERGIA ELÉTRICA F-242	-23,240	-45,889	9,0
ATALAIA	-10,924	-37,064	4,6
MILLENNIUM	-12,698	-38,299	4,8
CONTAGEM	-19,921	-44,077	19,3
CENPES - PETROBRÁS	-22,993	-43,338	16,1
PARAIBUNA	-21,778	-43,339	2,0
SOUZA CRUZ CACHOEIRINHA	-29,927	-51,090	3,0
WEATHERFORD	-29,287	-51,080	0,3
OPERADORA SÃO PAULO RENAISSANCE	-23,536	-46,604	1,7
MICROTURGN	-20,466	-54,629	0,1
SESC SENAC-CASS	-22,991	-43,413	1,6
PAMESA	-8,296	-35,032	4,1
IMCOPA	-25,601	-49,393	7,0
JARAQUI	-3,118	-59,972	75,5
CENU	-23,495	-46,634	4,0
PQU	-23,639	-46,487	8,8
AEROPORTO DE MACEIÓ	-9,507	-35,793	0,8
MANAUARA	-3,082	-60,018	85,4
GERAÇÃO PRÓPRIA DE ENERGIA ELÉTRICA - GPEE	-23,002	-43,312	6,0
CENTRAL DE CO- GERAÇÃO SHOPPING - ARACAJU	-10,919	-37,068	2,6
CRYLOR	-23,163	-45,898	8,0
SHOPPING RECIFE	-8,119	-34,905	6,0
GE CELMA	-22,513	-43,213	1,1
PORTO DO PECÉM	-3,608	-38,969	5,3
BIANCOGRÊS	-20,200	-40,198	5,1
CENTRO OPERACIONAL REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO	-23,548	-46,625	0,3
CONDOMÍNIO W.T.C.	-23,608	-46,697	5,3

NORTE SHOPPING	-22,886	-43,283	3,8
AHLSTROM	-23,078	-46,953	1,3
POLICAM	-21,762	-41,319	4,0
SHOPPING INTERLAGOS	-23,676	-46,676	1,8
SUPERSHOPPING OSASCO	-23,535	-46,771	1,3
GÁS CAAPIRANGA	-3,116	-59,972	2,2
GÁS ANORI	-4,262	-61,843	3,3
GÁS ANAMÃ	-3,584	-61,461	3,3
LUIZ OSCAR RODRIGUES DE MELO (ANTIGA LINHARES)	-19,374	-40,085	204,0
SHOPPING CAXIAS	-22,787	-43,286	1,3
MC2 NOVA VENÉCIA 2	-4,833	-44,482	176,2
LEVORIN	-23,461	-46,498	4,1
SHOPPING CAMPO GRANDE	-20,459	-54,588	4,7
MARANHÃO IV (ANTIGA MC2 JOINVILLE)	-4,864	-44,361	337,6
MARANHÃO V (ANTIGA MC2 JOÃO NEIVA)	-4,869	-44,358	337,6
TORRE ELDORADO	-23,571	-46,697	4,0
SHOPPING TACARUNA	-8,026	-34,864	2,6
PETRORECÔNCAVO	-12,505	-38,320	1,0
BRASKEM PVC-AL	-9,678	-35,766	2,9
BAIXADA FLUMINENSE	-22,724	-43,649	530,0
YUNI GTIS LEOPOLDO GREEN	-23,587	-46,679	2,1
EDIFÍCIO SKY	-23,608	-46,698	1,3
SHOPPING CENTER VALE	-23,200	-45,881	2,1
TS5 TOWER 4	-23,610	-46,697	4,9
RJR	-22,903	-43,176	12,0
PARNAÍBA IV	-4,866	-44,361	56,3
COGERAÇÃO DE MILLUS AV BRASIL	-23,009	-43,442	2,3
OESTE CANOAS I	-2,760	-42,825	3,6
ESPIGÃO I	-2,501	-43,250	3,6
SISTEMA BACKUP DE GERAÇÃO DA ESTAÇÃO DE COMPRESSÃO DE GÁS NATURAL DE PAULÍNIA/SP	-22,770	-47,155	1,2

Tabela 23. Lista de usinas termelétricas do Brasil movidas a carvão mineral, representando as coordenadas geográficas e a potência fiscalizada, em megawatts.

Nome	Latitude	Longitude	Potência Fiscalizada (MW)
CHARQUEADAS	-29,944	-51,574	72,0
FIGUEIRA	-23,853	-50,390	20,0

JORGE LACERDA I E II	-28,452	-48,969	232,0
PRESIDENTE MÉDICI A, B	-31,552	-53,682	446,0
SÃO JERÔNIMO	-29,966	-51,722	20,0
JORGE LACERDA III	-28,460	-48,965	262,0
JORGE LACERDA IV	-28,454	-48,969	363,0
ALUNORTE	-1,546	-48,736	103,9
ALUMAR	-2,710	-44,348	75,2
PORTO DO ITAQUI (ANTIGA TERMOMARANHÃO)	-2,587	-44,339	360,1
PORTO DO PECÉM I (ANTIGA MPX)	-3,585	-38,857	720,3
CANDIOTA III	-31,585	-53,671	350,0
PORTO DO PECÉM II	-3,583	-38,874	365,0

Tabela 24. Lista de usinas termelétricas do Brasil movidas óleo combustível, representando as coordenadas geográficas e a potência fiscalizada, em megawatts.

Nome	Latitude	Longitude	Potência Fiscalizada (MW)
CAMPINA GRANDE	-7,201	-35,875	169,1
CELPAV II	-21,548	-47,701	32,6
COGERAÇÃO INTERNATIONAL PAPER - FASES I E II	-22,322	-46,938	50,5
IGARAPÉ	-19,942	-44,319	131,0
NUTEPA	-30,077	-51,081	24,0
PIRATININGA	-23,777	-46,724	190,0
MRN UG I (ANTIGA PORTO TROMBETAS)	-1,749	-55,854	15,3
REFAP	-29,936	-51,149	74,7
MAUÁ	-2,992	-60,018	552,6
CADAM	0,254	-51,063	25,0
APARECIDA PARTE I	-3,036	-60,001	240,7
CAPUAVA	-23,719	-46,521	18,0
REMAN	-3,003	-59,981	6,4
ORSA	-24,118	-48,899	4,5
CITROSUCO	-22,534	-47,386	2,3
CNT	-14,458	-48,438	36,0
NORTE	-22,765	-47,116	3,9
TAMBAQUI	-3,007	-59,932	93,0
PONTA NEGRA	-3,009	-59,942	85,4
CRISTIANO ROCHA	-3,011	-59,962	85,4
CAMAÇARI MURICY I	-12,693	-38,304	151,7
CAMAÇARI PÓLO DE APOIO I	-12,691	-38,311	150,0
TERMOPARAÍBA	-7,097	-34,858	170,9
GLOBAL II	-12,676	-38,539	148,8
TERMONORDESTE	-7,077	-34,857	170,9
GLOBAL I	-12,671	-38,537	148,8
MARACANAÚ I	-3,855	-38,617	168,0

VIANA	-20,365	-40,433	174,6
GERAMAR II (ANTIGA NOVA OLINDA)	-3,555	-44,583	165,9
GERAMAR I (ANTIGA TOCANTINÓPOLIS)	-3,562	-44,581	165,9
SUAPE II	-8,295	-35,031	381,3
MRN UG II	-1,747	-55,876	45,8
PERNAMBUCO III	-7,851	-34,907	200,8

Tabela 25. Lista de usinas termelétricas do Brasil movidas a óleo diesel, representando as coordenadas geográficas e a potência fiscalizada, em megawatts.

Nome	Latitude	Longitude	Potência Fiscalizada (MW)
SANTANA	-0,008	-51,173	178,1
PALMEIRAS DE GOIÁS	-16,808	-49,937	175,6
TERMOMANAUS	-7,846	-34,903	142,7
GOIÂNIA II	-16,830	-49,282	140,0
PETROLINA	-9,392	-40,488	136,2
ELECTRON (TG)	-3,938	-60,815	120,0
FLORES	-3,108	-60,063	99,6
PAU FERRO I	-7,837	-34,904	94,1
SENADOR ARNON AFONSO FARIAS DE MELLO (FLORESTA)	2,859	-60,683	85,9
POTIGUAR III	-5,854	-35,347	66,4
XAVANTES ARUANÃ	-16,701	-49,253	53,6
POTIGUAR	-5,857	-35,362	53,1
MAUÁ PARTE III BLOCO IRANDUBA	-3,123	-60,249	50,0
RIO ACRE	-9,943	-67,843	45,5
DAIA	-16,354	-48,945	44,4
BELO JARDIM	-9,934	-67,812	43,8
RIO MADEIRA	-8,794	-63,881	43,4
MAUÁ PARTE II BLOCO DISTRITO	-3,056	-60,076	40,0
SÃO JOSÉ	-3,119	-60,045	34,8
BAHIA I - CAMAÇARI	-12,725	-38,299	31,8
RIO BRANCO II	-9,956	-67,833	31,8
CRUZEIRO DO SUL	-7,627	-72,663	24,2
VILHENA	-12,728	-60,123	23,8
MANACAPURU	-3,290	-60,619	23,7
PARINTINS	-2,635	-56,750	23,0
COARI	-4,103	-63,133	22,3
SERRA DO NAVIO	0,923	-51,999	21,6
TABATINGA	-9,229	-61,889	21,1
ITACOATIARA	-3,122	-58,441	21,1
NOVA BURITIS	-10,222	-63,839	18,9
RIO BRANCO I	-9,988	-67,817	18,6
TEFÉ	-3,360	-64,719	17,2

CIDADE NOVA	-3,080	-60,082	15,6
CAUCAIA	-3,730	-38,647	14,8
IGUATU	-6,366	-39,322	14,8
JUAZEIRO DO NORTE	-7,238	-39,307	14,8
ENGUIA PECÉM	-3,612	-38,967	14,8
MACHADINHO DO OESTE	-9,430	-61,907	13,3
ALTOS	-5,045	-42,467	13,1
CAMPO MAIOR	-4,825	-42,186	13,1
CRATO	-7,241	-39,421	13,1
MARAMBAIA	-5,158	-42,758	13,1
NAZÁRIA	-5,066	-42,791	13,1
PIMENTA BUENO	-11,697	-61,178	13,0
HUMAITÁ	-7,520	-63,042	12,9
BRUMADO	-27,101	-48,865	12,9
ITAÚ MOOCA	-23,558	-46,614	12,8
MAUÉS	-3,395	-57,707	11,7
ARACATI	-4,566	-37,764	11,5
BATURITÉ	-4,329	-38,879	11,5
CATERPILLAR	-22,744	-47,668	11,5
BOCA DO ACRE	-8,779	-67,361	11,3
CARACARÁ	1,825	-61,141	11,0
COLORADO DO OESTE	-13,128	-60,532	10,9
BRASÍLIA	-15,847	-48,135	10,0
ALCOA BENEFICIAMENTO	-2,155	-56,082	9,8
AEROPORTO INTERNACIONAL DE SÃO PAULO/GUARULHOS-CENTRAL ELÉTRICA DE EMERGÊNCIA CEE	-23,468	-46,543	9,6
VILA RICA	-10,021	-51,116	9,3
NOVO PROGRESSO	-7,087	-55,410	9,1
CENTRAL GERADORA DE EMERGÊNCIA - CSAC	-8,704	-63,896	9,1
BREVES	-1,673	-50,500	8,7
LARANJAL DO JARI	-0,822	-52,500	8,7
ORIXIMINÁ	-1,766	-55,852	8,5
SÃO FRANCISCO DO GUAPORÉ	-12,073	-63,559	8,4
APARECIDA PARTE II	-3,029	-59,952	8,4
OIAPOQUE	3,837	-51,829	8,3
SAPEZAL	-13,561	-58,808	8,1
VISTA ALEGRE DO ABUNÃ	-8,808	-63,904	8,1
MUNGUBA	-1,502	-52,591	8,0
ALTEROSA	-19,829	-44,602	8,0
HERMASA	-3,142	-58,434	7,6
SÃO JOSÉ DO RIO CLARO	-13,448	-56,735	7,6
CALÇADOS AZALÉIA	-15,348	-40,019	7,5
SANTANA DO ARAGUAIA	-9,339	-50,331	7,3
ITAÚSA	-23,525	-46,728	7,3
CUJUBIM	-9,366	-62,595	6,7

MONTE ALEGRE	-1,988	-54,085	6,7
ITAUTINGA	-3,118	-60,041	6,6
3M SUMARÉ	-22,809	-47,273	6,4
BORBA	-4,407	-59,600	6,4
EIRUNEPÉ	-6,850	-70,242	6,3
ALVORADA D'OESTE	-11,358	-62,299	6,3
LÁBREA	-7,267	-64,782	6,3
AUTAZES	-3,585	-59,117	6,0
CASTANHO	-3,815	-60,351	6,0
SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA	-0,115	-67,087	5,9
ALCOA PORTO	-27,812	-50,305	5,6
MONTE DOURADO	-1,527	-52,585	5,5
TIVIT BARRA (ANTIGA OPTIGLOBE RIO)	-23,041	-43,554	5,5
TIVIT TRANSAMÉRICA (ANTIGA OPTIGLOBE SÃO PAULO)	-23,651	-46,722	5,5
EDIFÍCIO ROCHAVERÁ	-23,568	-46,670	5,5
CARAUARI	-4,867	-66,899	5,5
CHUPINGUAIA	-12,549	-60,912	5,4
CODAJÁS	-3,841	-62,060	5,2
MANICORÉ	-5,814	-61,283	5,1
BENJAMIN CONSTANT	-4,383	-70,018	5,1
APUÍ	-7,206	-59,881	5,0
COSTA MARQUES	-12,441	-64,224	5,0
JBS ANDRADINA	-20,904	-51,391	5,0
ALBRÁS	-1,517	-48,615	5,0
FRANGO SERTANEJO	-20,797	-49,226	4,9
TERMOMECÂNICA SÃO PAULO	-23,655	-46,572	4,9
CAIMA	-4,256	-55,999	4,9
NOVA OLINDA DO NORTE	-3,584	-59,123	4,9
FEIJÓ	-8,166	-70,364	4,9
AGUDOS AMBEV	-22,465	-48,981	4,8
MARFRIG MINEIROS	-16,641	-49,252	4,8
ÓBIDOS	-1,901	-55,506	4,8
RÁDIO E TELEVISÃO RECORD	-23,666	-46,716	4,8
TARAUACÁ	-8,161	-70,769	4,7
NOVO ARIPUANÃ	-5,125	-60,385	4,7
COMODORO	-13,665	-59,777	4,6
AMAPÁ GARDEN SHOPPING	0,168	-51,073	4,6
LATASA SANTA CRUZ	-23,001	-43,447	4,5
ITAGUASSU AGRO INDUSTRIAL	-10,856	-37,124	4,5
SHOPPING CENTER IGUATEMI PORTO ALEGRE	-30,189	-51,118	4,4
FBA	-23,376	-47,895	4,4
TUBARÃO	-3,863	-32,427	4,4
CERVEJARIA PETRÓPOLIS	-22,406	-42,967	4,4
ROVEMA-TRIUNFO	-8,810	-63,697	4,3

ANORI	-3,746	-61,658	4,3
SOURE	-0,394	-48,611	4,3
SISTEMA DE GERAÇÃO DO MUNICÍPIO DE FEIJÓ	-8,167	-70,347	4,3
CAMPO NOVO	-10,576	-63.611822	4,2
PORTEL	-1,956	-50,812	4,2
ALENQUER	-1,943	-54,743	4,1
ALMEIRIM	-1,524	-52,581	4,1
NOVO AIRÃO	-2,639	-60,948	4,1
SALVATERRA	-0,766	-48,679	4,1
NOVO DATA CENTER - BM&FBOVESPA	-23,435	-46,918	4,0
SHOPPING PORTO VELHO	-8,732	-63,904	4,0
OESP	-23,551	-46,634	4,0
CONDOMÍNIO E-TOWER SÃO PAULO	-23,596	-46,690	4,0
CONDOMÍNIO SP MARKET CENTER	-23,569	-46,701	4,0
CHRIS CINTOS	-23,611	-46,664	4,0
AEROPORTO INTERNACIONAL DE VIRACOPOS - CAMPINAS	-22,912	-47,028	3,9
3M ITAPETININGA	-23,593	-48,027	3,8
TECUMSEH BAIRRO VILA IZABEL	-22,032	-47,880	3,8
TECUMSEH BAIRRO JARDIM JOCKEY CLUBE	-22,027	-47,878	3,8
JURUENA	-10,321	-58,500	3,8
TAPAUÁ	-5,631	-63,184	3,8
MERCK	-22,927	-47,112	3,8
DORI ALIMENTOS	-22,250	-49,934	3,8
BEBIDAS IPIRANGA	-21,247	-47,857	3,8
URUCARÁ	-2,532	-57,746	3,8
JACI-PARANÁ	-8,721	-63,860	3,7
ABATEDOURO SÃO SALVADOR	-16,021	-49,790	3,7
CONIEXPRESS	-16,409	-49,217	3,7
TERRA SANTA	-2,104	-56,483	3,6
QUERÊNCIA DO NORTE	-12,579	-52,211	3,6
BUETTNER	-27,100	-48,906	3,6
CENTRO ALTERNATIVO CAMPINAS	-22,929	-47,142	3,6
SHOPPING NOVA AMÉRICA	-22,937	-43,196	3,6
CIF MINERAÇÃO	-21,768	-42,536	3,6
NOVA BANDEIRANTES	-9,897	-57,777	3,6
CEDASA	-22,460	-47,521	3,6
FONTE BOA	-2,522	-66,096	3,6
UNIPAC	-22,068	-50,177	3,5
MANTECORP IQF	-22,906	-43,705	3,4
HYPERMARCAS	-22,853	-43,292	3,4
MUANÁ	-1,531	-49,222	3,4
VALE DO ANARI	-9,862	-62,171	3,4
SHOPPING PARQUE DAS BANDEIRAS	-22,961	-47,080	3,4

ENVIRA	-7,437	-70,029	3,3
EDITORA O DIA	-22,958	-43,192	3,3
BARREIRINHA	-2,774	-57,036	3,2
MARFRIG ALEGRETE	-29,795	-55,783	3,2
MARFRIG BAGÉ	-31,316	-54,092	3,2
SENADO FEDERAL	-15,721	-48,153	3,2
TAD	-13,833	-56,090	3,2
RIO PRETO DA EVA	-2,706	-59,693	3,2
ITAMINAS	-20,034	-44,134	3,2
JUTAÍ	-2,745	-66,767	3,2
ABUNÃ	-8,795	-63,816	3,2
APIACÁS	-9,569	-57,393	3,1
BERURI	-3,903	-61,368	3,1
MANAQUIRI	-3,437	-60,454	3,1
ITAPIRANGA	-2,743	-58,028	3,1
PASTIFÍCIO SANTA AMÁLIA	-21,679	-45,920	3,1
BASF GUARATINGUETÁ	-22,792	-45,198	3,1
NORTH SHOPPING JÓQUEI	-3,716	-38,593	3,0
MENU	-21,265	-50,637	3,0
TORRE E	-23,577	-46,625	3,0
SÃO PAULO DE OLIVENÇA	-3,468	-68,954	3,0
SHOPPING CENTER IGUATEMI BELÉM	-1,333	-48,464	3,0
ETERNIT	-25,293	-49,232	3,0
PAUINI	-7,714	-66,992	2,9
PLASTSEVEN	-22,163	-42,421	2,9
SÃO SEBASTIÃO DA BOA VISTA	-1,720	-49,530	2,9
MINERAÇÃO ESPERANÇA	-20,154	-44,201	2,9
AFUÁ	-0,164	-50,395	2,9
SOCIEDADE DE EDUCAÇÃO TIRADENTES	-10,887	-37,076	2,8
GOIÂNIA SHOPPING	-16,640	-49,309	2,8
NHAMUNDÁ	-2,195	-56,711	2,8
LUBRASIL	-22,658	-47,682	2,8
RENOSA	-15,605	-56,156	2,8
EXTRA CARAGUATATUBA	-23,623	-45,438	2,7
GRAND HYATT SÃO PAULO	-23,616	-46,697	2,7
BERGAMINI	-23,512	-46,599	2,7
AEROPORTO INTERNACIONAL SALGADO FILHO	-30,208	-51,105	2,7

(*) Lista das 200 usinas termelétricas a óleo diesel com maior potencial energético, com representação de aproximadamente 81,4 % de toda potência fiscalizada no Brasil.

Tabela 26. Limites inferior e superior das emissões totais de poluentes por fontes fixas, em gigagramas, exceto para CO₂ (teragramas).

Setor	Inf_NO _x	Sup_NO _x	Inf_SO _x	Sup_SO _x	Inf_CO	Sup_CO	Inf_MP	Sup_MP	Inf_TOC	Sup_TOC	Inf_CO ₂	Sup_CO ₂
Refinarias	123,55	329,47	116,69	1201,20	7413,11	34319,94	61,09	1736,59	171,60	1997,42	123,55	343,20
Papel e Celulose	6,19	0,19	0,07	0,68	4,19	19,38	0,03	0,98	0,10	1,13	0,07	0,19
Cimento	173,73	306,09	0,00	405,37	9,93	306,09	0,00	16141,10	0,00	14,89	148,91	0,00
UTE Bagaço	15,69	20,17	0,00	0,00	0,00	0,00	17,93	262,20	0,01	0,02	20,11	26,22
UTE Gás natural	5,51	48,34	0,10	0,10	4,05	16,86	1,35	1,35	1,91	1,91	20,50	20,50
UTE Carvão mineral	20,49	89,67	42,76	916,58	1,22	18,71	194,78	2319,52	0,27	54,04	3,71	8,14
UTE Óleo combustível	3,68	20,39	49,72	60,10	1,86	186,02	0,64	5,12	0,09	0,92	9,15	23,81
UTE Óleo diesel	92,66	458,58	49,31	154,53	41,46	105,22	0,00	13,51	0,00	13,51	0,00	22,16
Total	441,50	1272,90	258,65	2738,56	7475,80	34972,22	275,82	20480,36	173,98	2083,83	326,01	444,23

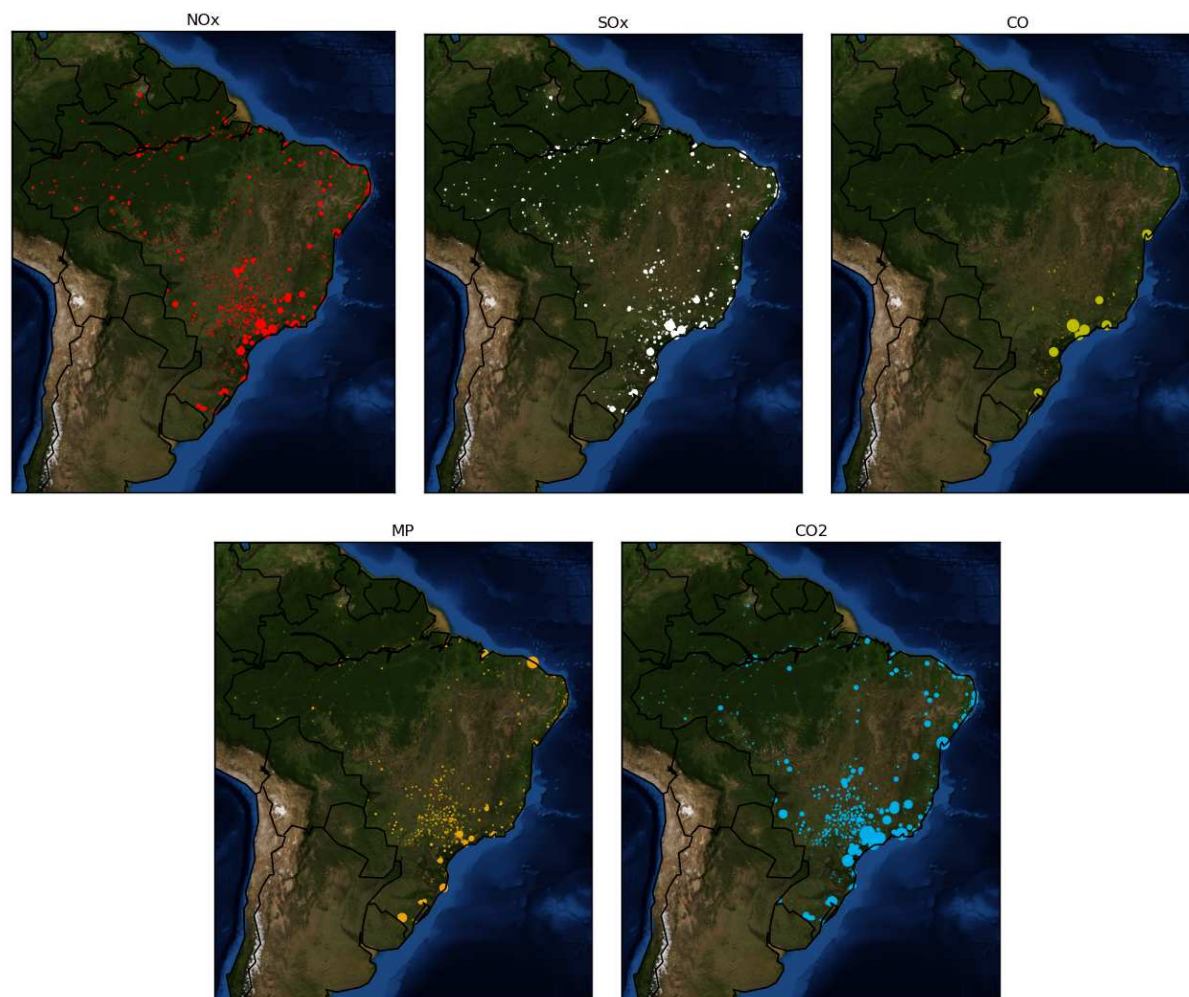
APÊNDICE – B Distribuição espacial das emissões estimadas para fontes fixas.

Figura 13. Limites inferior e superior das emissões estimadas para fontes fixas e estimativas das emissões veiculares.

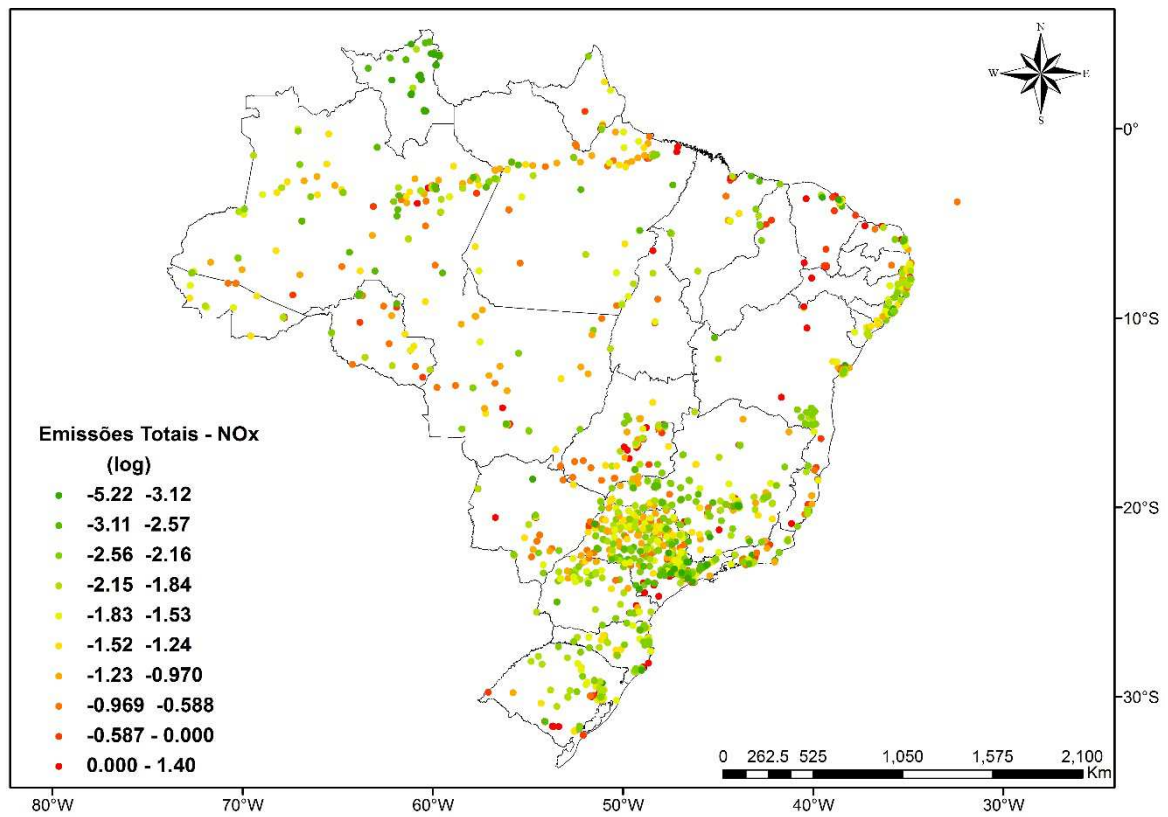


Figura 14. Emissões estimadas para NO_x (Gg/ano). Contribuição de todos os setores inventariados.

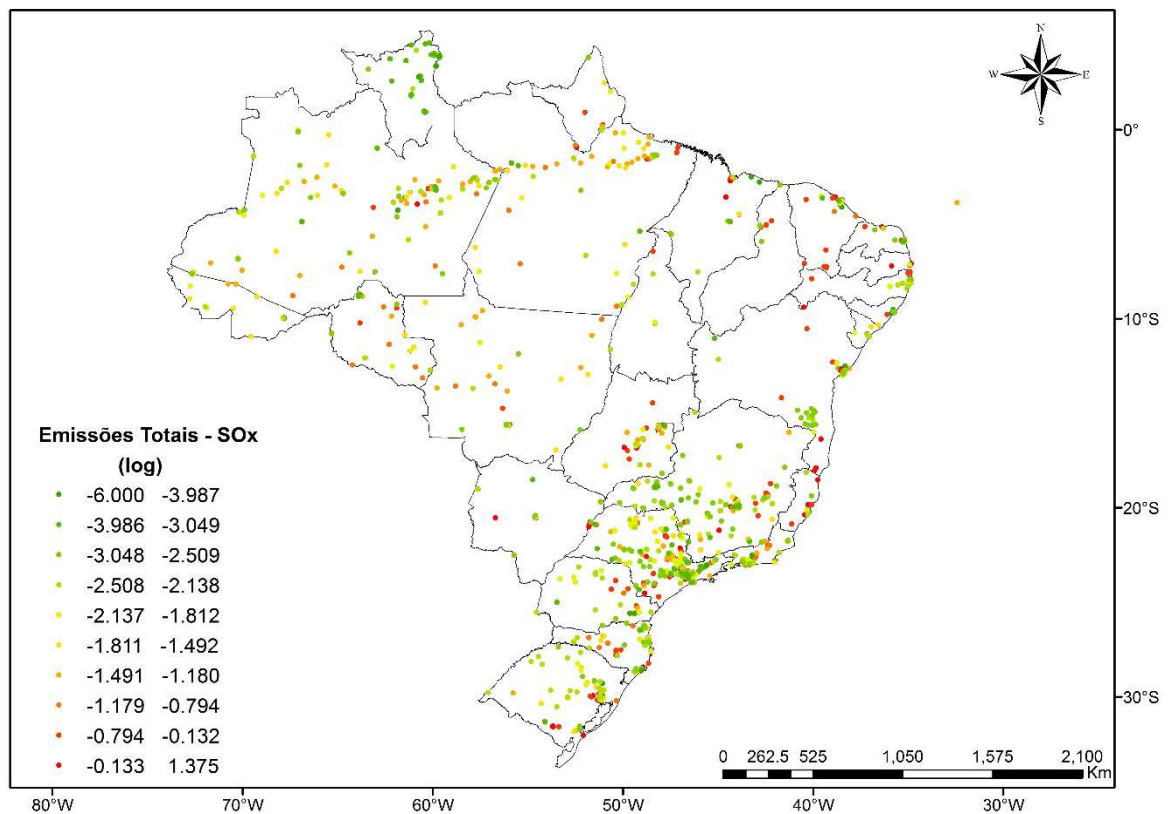


Figura 15. Emissões estimadas para SO_x (Gg/ano). Contribuição de todos os setores inventariados.

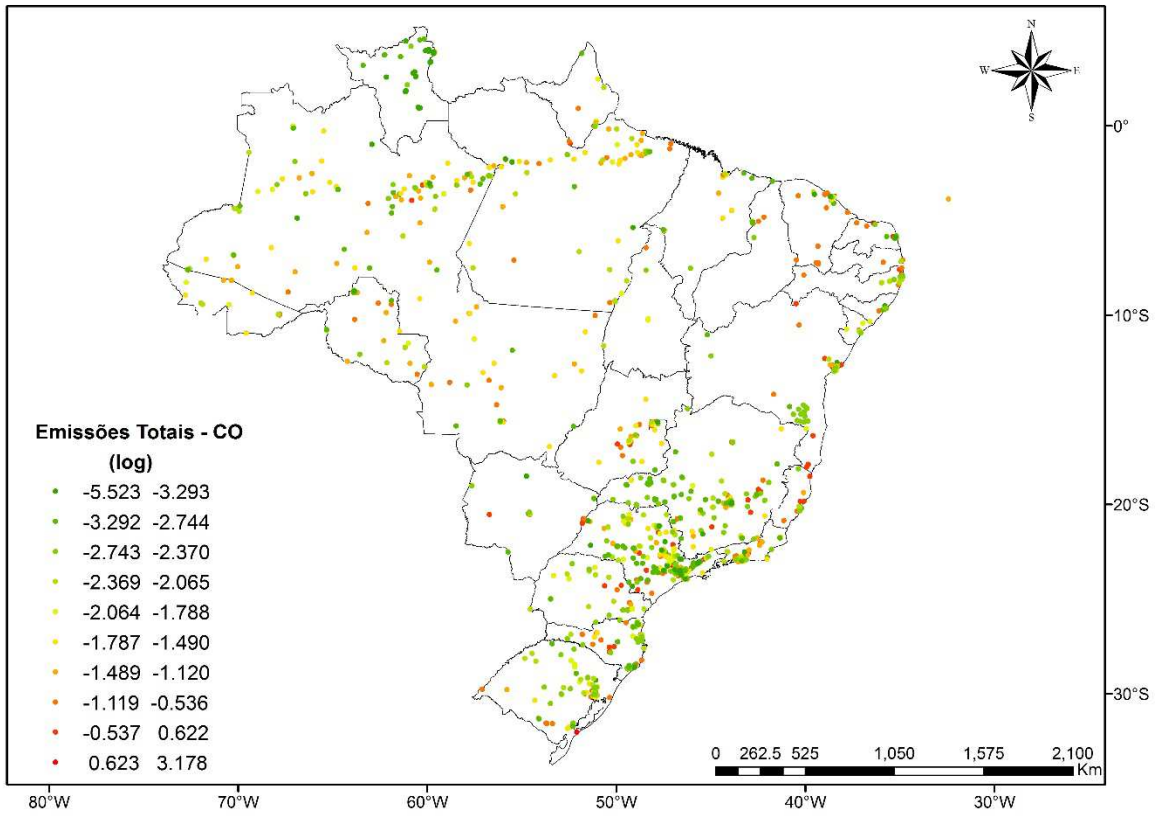


Figura 16. Emissões estimadas para CO_x (Gg/ano). Contribuição de todos os setores inventariados

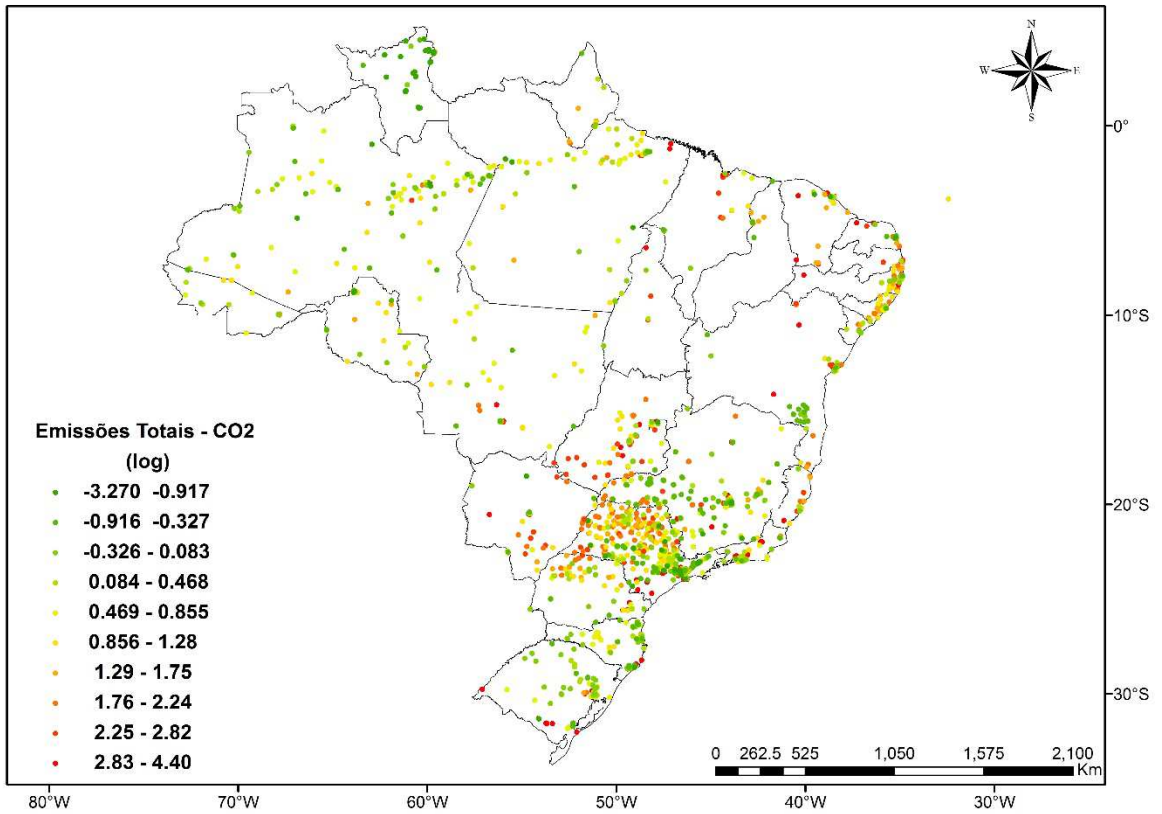


Figura 17. Emissões estimadas para CO₂ (Gg/ano). Contribuição de todos os setores inventariados.

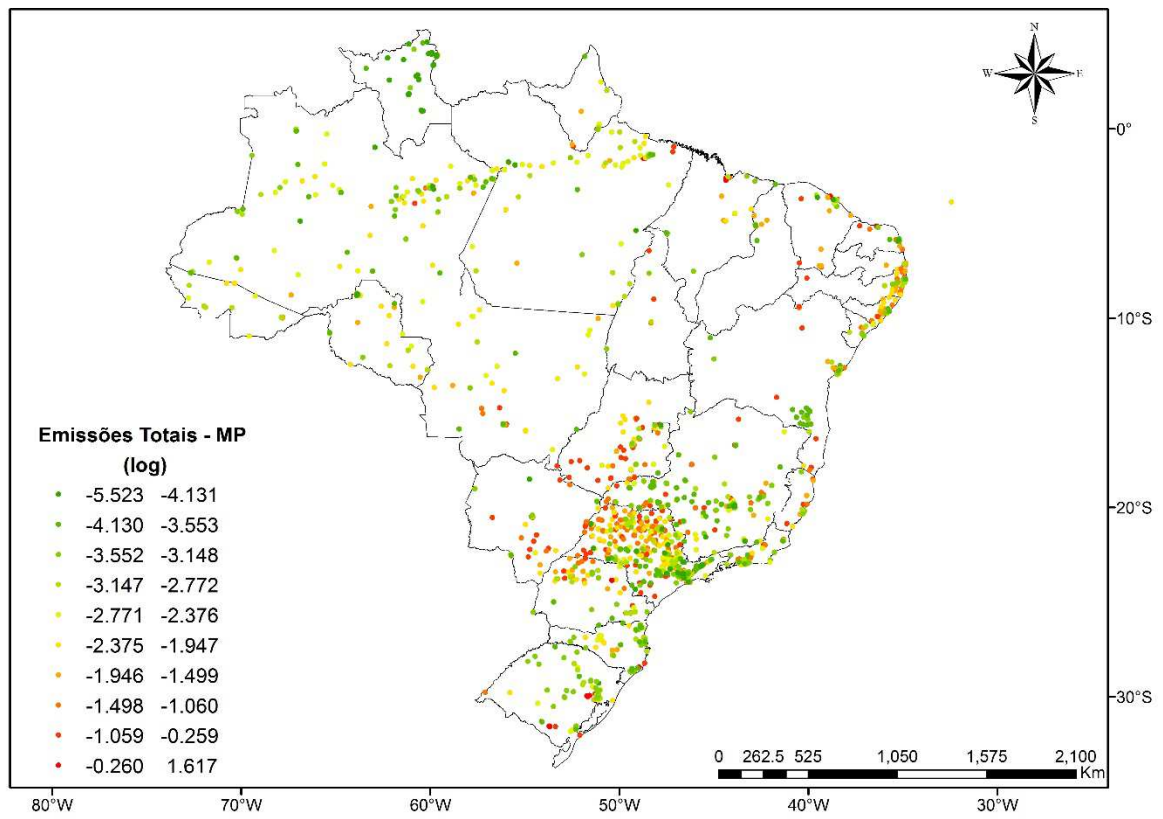


Figura 18. Emissões estimadas para MP (Gg/ano). Contribuição de todos os setores inventariados.