

# **INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS EM USINAS TERMELÉTRICAS:**

**geração de eletricidade, emissões e lista  
de empresas proprietárias das termelétricas  
a combustíveis fósseis e de serviço público do  
Sistema Interligado Nacional (ano-base 2020)**



# INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS EM USINAS TERMELÉTRICAS: geração de eletricidade, emissões e lista de empresas proprietárias das termelétricas a combustíveis fósseis e de serviço público do Sistema Interligado Nacional (ano-base 2020)

Junho de 2022

## Equipe técnica:

André Luis Ferreira  
Felipe Barcellos e Silva  
Raissa Gomes  
Ricardo Baitelo

## Comunicação:

Isis Rosa Nóbile Diniz

## Cooperação externa:

Gabriel de Freitas Viscondi  
Heloísa Helena Bredemann  
Munir Younes Soares

## Projeto gráfico:

Mario Kanno

## Foto da capa:

Caique Silva - Unsplash

## Apoio:

Charles Stewart Mott Foundation

## Sobre o IEMA:

O Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) é uma Organização da Sociedade Civil de Interesse Público (OSCIP) fundada no Brasil em 2006. O IEMA tem como foco a produção e a disseminação de conhecimento técnico-científico para subsidiar a formulação e a avaliação de políticas públicas, atuando sempre com o propósito de qualificar os processos decisórios para que os sistemas de transporte e de energia no país assegurem o uso sustentável de recursos naturais com desenvolvimento social e econômico.

## Quem somos:

André Luis Ferreira  
David Shiling Tsai  
Fabio Galdino  
Felipe Barcellos e Silva  
Gabrielly de Castro Alves  
Helen Sousa  
Isis Rosa Nóbile Diniz  
Ingrid Graces  
Marcelo dos Santos Cremer  
Mônica Takeda  
Raissa Gomes  
Ricardo Baitelo  
Vinicius Oliveira da Silva

## Fale conosco:

Rua Artur de Azevedo, 1212, 9º andar, Pinheiros,  
São Paulo - SP, CEP 05404-003  
Telefone: +55 (11) 3476-2850  
[energiaeambiente.org.br](http://energiaeambiente.org.br)

[energiaeambiente@energiaeambiente.org.br](mailto:energiaeambiente@energiaeambiente.org.br)

## Acompanhe nossas redes sociais:



[twitter.com/iema\\_instituto](https://twitter.com/iema_instituto)



[www.linkedin.com/company/instituto-de-energia-e-meio-ambiente](https://www.linkedin.com/company/instituto-de-energia-e-meio-ambiente)



[www.facebook.com/institutoenergiaeambiente](https://www.facebook.com/institutoenergiaeambiente)



[www.instagram.com/energiaeambiente](https://www.instagram.com/energiaeambiente)



# APRESENTAÇÃO

Desde o início dos anos 2000, a matriz elétrica brasileira passa por uma transição em que a expansão da capacidade instalada e da geração hidrelétricas dá lugar a uma crescente diversificação das fontes de geração. Se, por um lado, observou-se uma ampliação marcante das fontes biomassa, eólica e solar, verificou-se, por outro, a expansão do uso de combustíveis fósseis para geração de eletricidade. Essa geração aumentou de 30,6 TWh em 2000 para 84,8 TWh em 2020, quase o triplo.

Tendo em vista as implicações ambientais, sociais e econômicas dessa transição, o Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) vem se dedicando a um conjunto de estudos e análises com o intuito de chamar a atenção do governo, de organizações não governamentais, da mídia, de pesquisadores e da sociedade em geral para os impactos ambientais das usinas termelétricas. O resultado do trabalho tem sido divulgado por meio de uma série de publicações visando fornecer subsídios ao processo de avaliação, licenciamento ambiental e habilitação de empreendimentos. Além disso, busca-se contribuir com o compartilhamento de informações e com a tomada de decisão sobre a viabilidade desses projetos.

A geração termelétrica e sua correlação com emissões de poluentes foi abordada em duas das primeiras publicações: [“Regulação ambiental da termelétricidade no Brasil – controle de emissão de poluentes”](#) e [“Geração termoelétrica e emissões atmosféricas: poluentes e sistemas de controle”](#). Mais recentemente, também exposta no [“Boletim Leilão de Energia Elétrica”](#) (publicado continuamente) e na nota técnica [“Qualidade do Ar em Macaé \(RJ\)”](#).

Com esses estudos, consolidou-se uma base de dados com parâmetros técnicos e ambientais das usinas, tais como: combustível utilizado, ciclo termodinâmico, tipos de sistemas de controle adotados, potencial de emissões aéreas e uso de água para resfriamento. Aprimorou-se, então, uma metodologia de consolidação de dados, incluindo critérios para casos de informações ausentes ou pouco consistentes.

A presente publicação sistematiza esses dados em *rankings* de emissões de usinas termelétricas fósseis do serviço público que forneceram energia ao Sistema Interligado Nacional, bem como de seus respectivos proprietários.

Importante destacar que se optou pela utilização dos Relatórios de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) como fontes de informações, pois eles se mostraram mais completos em termos de disponibilidade de dados de consumo de combustíveis e de emissões de poluentes atmosféricos locais. Por esse motivo, o ano-base adotado para este inventário é 2020, visto que informações referentes ao ano de 2021 ainda não se encontram completamente disponíveis.

A publicação desta primeira edição ganha importância em um momento recente em que as termelétricas a combustíveis fósseis, sobretudo a gás natural, ganharam espaço como alternativas imediatas de complementação de geração hidrelétrica deficiente e combate ao risco de um racionamento de eletricidade. A publicação também é oportuna quando se atenta para o médio e longo prazo, com a previsão de instalação de 8.000 MW em termelétricas a gás espalhadas em todas as regiões do Brasil – que entrarão no sistema entre 2026 e 2030 – e com a postergação de subsídios e da vida útil de usinas a carvão mineral até 2040.

O contexto atual do setor elétrico apresenta elevados riscos para seus planos de descarbonização rumo a uma matriz 100% renovável, bem como para a melhoria da qualidade do ar no país. Assim, com esta primeira edição do inventário, destinada a executivos do setor elétrico, defensores do meio ambiente, analistas financeiros, investidores, jornalistas, reguladores e formuladores de políticas, o IEMA se coloca nos papéis de provedor de informações qualificadas e de observador crítico de impactos ambientais ocorridos nos últimos anos e previstos para as próximas duas décadas.



# RESUMO EXECUTIVO

## GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

### Escopo deste inventário

- A base de dados de geração termelétrica utilizada para listar as usinas aqui inventariadas diz respeito às térmicas de serviço público que disponibilizaram energia ao Sistema Interligado Nacional (SIN), excluindo tanto as unidades de geração de autoprodutores quanto as plantas movidas a combustíveis renováveis. A geração termelétrica nos sistemas isolados (Sisol), supridos por pequenas ou médias usinas com pouca disponibilidade de informações, também está fora do escopo desta primeira edição do inventário.

### Matriz elétrica brasileira em transição

- Desde o início dos anos 2000, a matriz elétrica brasileira passa por uma transição caracterizada pela crescente ampliação da participação de renováveis não hídricas, como biomassa e eólica, e pela expansão do uso de combustíveis fósseis. **Nas duas últimas décadas, a geração total de energia elétrica cresceu 78%, enquanto a geração por meio da fonte hidráulica teve ampliação de apenas 30%.**
- A geração termelétrica fóssil teve um aumento de 177%, crescendo de 30,6 TWh em 2000 para 84,8 TWh em 2020.** Consequentemente, o total de emissões de gases de efeito estufa (GEE) no setor elétrico brasileiro aumentou 90% entre 2000 e 2020.
- A geração termelétrica proveniente do conjunto de usinas contidas neste estudo foi de 54,1 TWh em 2020. Ao todo, 41,3 TWh foram produzidos a partir do gás natural (36 plantas), o que corresponde a 76% do total. Segundo em participação, o carvão mineral (oito plantas) foi responsável pela geração de 10,8 TWh, o que representa 20% da produção de eletricidade fóssil.** Já os derivados de petróleo, óleo combustível (17 plantas) e óleo diesel (11 plantas) tiveram participação mais discreta com produção conjunta menor que 2 TWh (4%).

### Ranking de geração por usina termelétrica

- Apenas cinco usinas responderam por 33% da geração termelétrica inventariada:** Norte Fluminense com 4,8 TWh (8,9%); Mauá 3 com 3,9 TWh (7,2%); Termorio, 3,6 TWh (6,7%); Maranhão III, 3,1 TWh (5,8%); e Termopernambuco com 2,5 TWh (4,6%). Além disso, 49% da geração inventariada foi proveniente de apenas dez usinas (figura ao lado) e a quase

**Ranking de geração por usina termelétrica**

● Gás natural ● Carvão mineral

		TWh	
1	<b>Norte Fluminense</b> Macaé - RJ	4,8	8,9%
2	<b>Mauá 3</b> Manaus - AM	3,9	7,2%
3	<b>Termorio</b> Duque de Caxias - RJ	3,6	6,7%
4	<b>Maranhão III</b> Santo Antônio dos Lopes - MA	3,1	5,8%
5	<b>Termopernambuco</b> Ipojuca - PE	2,5	4,6%
6	<b>Jorge Lacerda IV</b> Capivari de Baixo - SC	1,9	3,4%
7	<b>Baixada Fluminense</b> Seropédica - RJ	1,8	3,3%
8	<b>Porto do Pecém I</b> São Gonçalo do Amarante - CE	1,8	3,3%
9	<b>Luiz Oscar Rodrigues de Melo</b> Linhares - ES	1,7	3,1%
10	<b>Termomacaé</b> Macaé - RJ	1,6	3,0%



totalidade da eletricidade produzida em 2020 (94%) foi disponibilizada ao Sistema Interligado Nacional (SIN) por somente metade do conjunto total de usinas.

## Ranking de eficiência energética das usinas termelétricas

- A eficiência energética de uma usina termelétrica indica a parcela da energia liberada pelo combustível que é convertida em eletricidade. Usinas mais eficientes queimam menos combustível e emitem menos gases de efeito estufa por gigawatt-hora (GWh) produzido.
- **No extremo inferior de eficiência estão as térmicas a carvão mineral. Já as usinas a gás natural ocuparam os primeiros nove lugares no ranking** de eficiência do parque termelétrico fóssil de serviço público.
- **Entre as dez usinas com mais baixa eficiência energética, cinco são movidas a carvão.** Entre as piores estão Pampa Sul e Candiota III, com apenas 27% de eficiência.

## Distribuição da geração de energia elétrica no território

- Apesar do subsistema Nordeste concentrar o maior número de usinas termelétricas (28 unidades), o **subsistema Sudeste/Centro-Oeste (que possui 19 usinas) gerou mais energia elétrica de origem fóssil em 2020 (20,9 TWh – 39% do total inventariado).**
- Há uma concentração de geração em poucas unidades da federação: **81% da eletricidade de origem fóssil foi produzida em apenas oito estados. Rio de Janeiro, Amazonas e Maranhão responderam por mais de 52% do total** da energia elétrica fóssil produzida – o Rio de Janeiro produziu 25% (13,4 TWh).
- As termelétricas a combustível fóssil ligadas ao SIN estão distribuídas em pelo menos 41 municípios, mas **51% da geração esteve concentrada em apenas cinco municípios: Manaus (AM), Macaé (RJ), Santo Antônio dos Lopes (MA), Capivari de Baixo (SC) e Duque de Caxias (RJ).**

## EMISSIONES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

### Ranking de emissões por usina termelétrica

- **As 72 usinas inventariadas emitiram 32,7 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) em 2020. Apenas 12 usinas emitiram 55% dos gases de efeito estufa (GEE),** oito movidas a carvão mineral como combustível principal e outras quatro a gás natural (figura ao lado). Quase a totalidade do CO<sub>2</sub>e inventariado (94%) foi proveniente de somente 36 plantas, o que representa a metade das usinas fósseis de serviço público do SIN.

### Ranking de emissões por usina termelétrica

● Gás natural ● Carvão mineral

		Emissões (milhões de toneladas de CO <sub>2</sub> e)		
1	<b>Pampa Sul</b> Candiota - RS	2,0	6,1%	
2	<b>Norte Fluminense</b> Macaé - RJ	1,9	5,8%	
3	<b>Termorio</b> Duque de Caxias - RJ	1,8	5,5%	
4	<b>Jorge Lacerda IV</b> Capivari de Baixo - SC	1,7	5,2%	
5	<b>Mauá 3</b> Manaus - AM	1,6	5,0%	
6	<b>Candiota III</b> Candiota - RS	1,6	5,0%	
7	<b>Jorge Lacerda III</b> Capivari de Baixo - SC	1,6	4,8%	
8	<b>Porto do Pecém I</b> São Gonçalo do Amarante - CE	1,5	4,6%	
9	<b>Maranhão III</b> Santo Antônio dos Lopes - MA	1,2	3,7%	
10	<b>Porto do Pecém II</b> São Gonçalo do Amarante - CE	1,2	3,6%	
11	<b>Jorge Lacerda I e II</b> Capivari de Baixo - SC	1,0	2,9%	
12	<b>Porto do Itaqui</b> São Luís - MA	1,0	2,9%	

Nota: A Termorio se trata de uma usina de cogeração de eletricidade e vapor. Por isso, parte de suas emissões podem ter sido provenientes da geração de vapor e não de eletricidade.



## Taxa de emissões por usina termelétrica (tCO<sub>2</sub>e/GWh)

- Para uma avaliação comparativa do desempenho das termelétricas em termos de emissões, um indicador bastante adequado é a taxa de emissões, determinada pela divisão entre as emissões e a geração de eletricidade de uma planta. A figura ao lado apresenta as dez usinas termelétricas com maiores taxas de emissões. Oito delas utilizam carvão mineral.

## Ranking de emissões por empresas geradoras

- A geração termelétrica fóssil e as emissões de CO<sub>2</sub>e foram alocadas em empresas geradoras de acordo com suas respectivas participações acionárias em cada usina inventariada. Apesar de haver uma quantidade relativamente grande de empresas geradoras (41), **72,3% de toda geração fóssil inventariada foi de responsabilidade de apenas cinco empresas: Petrobras (28,7%), Eneva (14,7%), Engie Brasil Energia (10,5%), Électricité de France - EDF (9,4%) e Eletronorte (9,0%).**
- Três empresas responderam por 59,1% das emissões: Petrobras (24,9%), Engie Brasil Energia (19,0%) e Eneva (15,2%).** Na sequência, aparecem Eletronorte (6,7%), Électricité de France - EDF (6,1%), Eletrosul (5,0%), EDP (4,6%), Neoenergia (2,9%), Rio Doce Energia (2,5%) e J&F Investimentos (1,8%). **Essas dez empresas geradoras são responsáveis por 88,8% das emissões de 2020, o que equivale a mais de 29 milhões de toneladas de gases de efeito estufa.**

## Taxa de emissões por empresa geradora (tCO<sub>2</sub>e/GWh)

- Com relação à taxa de emissões de CO<sub>2</sub>e, a empresa que mais emitiu gases de efeito estufa por eletricidade gerada foi a Eletrosul com 1.327 tCO<sub>2</sub>e/GWh – mais que o dobro da média observada no SIN (608 tCO<sub>2</sub>e/GWh). A empresa é detentora de 100% do controle acionário de Candiota III, usina a carvão mineral com a maior taxa de emissão entre as usinas que forneceram energia ao SIN em 2020.**
- Apesar de ser a maior emissora em termos absolutos, a Petrobras apresentou uma taxa de emissão (483 tCO<sub>2</sub>e/GWh) muito inferior à média das termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público do SIN. Isso porque grande parte das usinas por ela controladas utilizam tecnologias que alcançam maiores eficiências energéticas.

### Taxa de emissões por usina termelétrica

● Carvão mineral ● Óleo combustível

Taxa de emissões (tCO <sub>2</sub> e/GWh)			
1	<b>Candiota III</b> Candiota - RS	1.327	
2	<b>Pampa Sul</b> Candiota - RS	1.302	
3	<b>Porto do Pecém II</b> São Gonçalo do Amarante - CE	1.172	
4	<b>Jorge Lacerda I e II</b> Capivari de Baixo - SC	1.108	
5	<b>Jorge Lacerda III</b> Capivari de Baixo - SC	1.080	
6	<b>Arembepe</b> Camaçari - BA	952	
7	<b>Jorge Lacerda IV</b> Capivari de Baixo - SC	907	
8	<b>Porto do Itaqui</b> São Luís - MA	865	
9	<b>Porto do Pecém I</b> São Gonçalo do Amarante - CE	849	
10	<b>Global I</b> Candeias - BA	714	

### Ranking de emissões por empresas geradoras

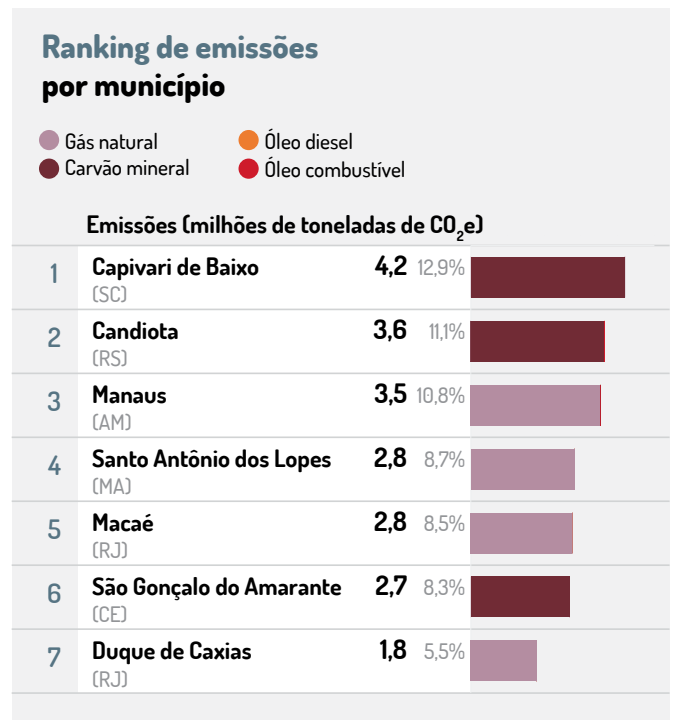
● Gás natural ● Óleo diesel ● Carvão mineral  
● Gás de refinaria ● Óleo combustível

Emissões (milhões de toneladas de CO <sub>2</sub> e)			
1	<b>Petrobras</b>	8,2 24,9%	
2	<b>Engie Brasil Energia</b>	6,2 19,0%	
3	<b>Eneva</b>	5,0 15,2%	
4	<b>Eletronorte</b>	2,2 6,7%	
5	<b>Électricité de France - EDF</b>	2,0 6,1%	
6	<b>Eletrosul</b>	1,6 5,0%	
7	<b>EDP Energias do Brasil</b>	1,5 4,6%	
8	<b>Neoenergia</b>	0,9 2,9%	
9	<b>Rio Doce Energia</b>	0,8 2,5%	
10	<b>J&amp;F Investimentos</b>	0,6 1,8%	



## Distribuição das emissões de gases de efeito estufa no território

- O subsistema Sudeste/Centro-Oeste, o maior emissor, foi responsável por 32% do total emitido, principalmente, devido ao estado do Rio de Janeiro. Em seguida, aparece o subsistema Sul, que emitiu 26% de GEE apesar de produzir apenas 16% da energia elétrica inventariada. Nesse subsistema estão localizadas cinco das oito usinas brasileiras a carvão mineral.
- Sete municípios respondem por 66% das emissões da geração termelétrica (figura ao lado). Os municípios de Capivari de Baixo, em Santa Catarina, e Candiota, no Rio Grande do Sul, onde estão, ao todo, cinco usinas a carvão mineral, são os dois maiores emissores do país, sendo responsáveis por quase um quarto do total inventariado.



## EMISSIONES DE ÓXIDOS DE NITROGÊNIO (NO<sub>x</sub>)

- Foram listadas as emissões de poluentes do ar (NO<sub>x</sub>) de apenas 41 das 72 termelétricas a combustíveis fósseis. Para as demais usinas, as informações não estavam presentes na plataforma de dados abertos do Ibama ou se mostraram inconsistentes.
- As usinas a carvão mineral são as principais emissoras de NO<sub>x</sub>. As três usinas instaladas na cidade catarinense Capivari de Baixo (com 25 mil habitantes), também próximas a áreas urbanizadas de Tubarão (107 mil pessoas), produzem anualmente o equivalente a cinco vezes o que emite a frota de ônibus de São Paulo, um dos maiores sistemas de transporte do mundo, com cerca de 14 mil ônibus.
- As dez termelétricas com maiores emissões de NO<sub>x</sub> estão localizadas, respectivamente, nos seguintes municípios: Capivari de Baixo (SC), Candiota (RS), Duque de Caxias (RJ), Linhares (ES), São Gonçalo do Amarante (CE), João Pessoa (PB) e Macaé (RJ).
- A julgar pelos projetos de termelétricas cadastrados nos recentes leilões de energia elétrica, o adensamento de usinas em um mesmo território parece ser uma tendência para o futuro próximo, o que pode causar impactos ainda mais relevantes na qualidade do ar dessas localidades. Tal situação tem se verificado nas proximidades de complexos industriais e portuários integrados a terminais de gás natural liquefeito (GNL).

## ACESSO A INFORMAÇÕES DE QUALIDADE

- Um desafio importante para a elaboração deste inventário foi a dificuldade de obtenção de informações de boa qualidade e acessíveis publicamente, especialmente no que se refere a indicadores ambientais das usinas termelétricas e de seus controladores. Ficou evidente que há uma longa distância a percorrer no Brasil, tanto para uma efetiva gestão pública do meio ambiente quanto para a implementação transparente e consistente das recentes práticas manifestas de Governança Ambiental, Social e Corporativa (ESG - Environmental, Social and Corporate Governance) por parte das empresas do setor elétrico.



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>Aneel:</b> Agência Nacional de Energia Elétrica	<b>MP:</b> Material Particulado
<b>BEN:</b> Balanço Energético Nacional	<b>Multiner:</b> Multiner Fundo de Investimento em Participações
<b>Brasil Energia:</b> Fundo de Investimentos em Participações Brasil Energia	<b>N:</b> Norte
<b>°C:</b> Grau Celsius	<b>N<sub>2</sub>O:</b> Óxido Nitroso
<b>CCC:</b> Conta de Consumo de Combustíveis	<b>NE:</b> Nordeste
<b>CDE:</b> Conta de Desenvolvimento Energético	<b>NO<sub>x</sub>:</b> Óxidos de Nitrogênio
<b>CH<sub>4</sub>:</b> Metano	<b>O<sub>3</sub>:</b> Ozônio
<b>CO:</b> Monóxido de Carbono	<b>Oema:</b> Órgão Estadual de Meio Ambiente
<b>CO<sub>2</sub>:</b> Dióxido de Carbono	<b>OMS:</b> Organização Mundial da Saúde
<b>CO<sub>2</sub>e:</b> Dióxido de Carbono Equivalente	<b>ONS:</b> Operador Nacional do Sistema Elétrico
<b>Covid-19:</b> <i>Corona Virus Disease 2019</i>	<b>Petrobras:</b> Petróleo Brasileiro S/A
<b>CTF/APP:</b> Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Naturais	<b>Rapp:</b> Relatório Anual de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais
<b>EDF:</b> Électricité de France S/A	<b>S:</b> Sul
<b>EDP:</b> EDP Energias do Brasil S/A	<b>SE/CO:</b> Sudeste/Centro-Oeste
<b>EIA:</b> Estudo de Impacto Ambiental	<b>Siga:</b> Sistema de Informações de Geração da Aneel
<b>Eletronorte:</b> Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A	<b>Sigel:</b> Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico
<b>Eletrosul:</b> Companhia de Geração e Transmissão de Energia Elétrica do Sul do Brasil - Eletrobras Cgt Eletrosul	<b>SIN:</b> Sistema Interligado Nacional
<b>Engie:</b> Engie Brasil Energia	<b>Sisol:</b> Sistema Isolado
<b>EPE:</b> Empresa de Pesquisa Energética	<b>SO<sub>x</sub>:</b> Óxidos de Enxofre
<b>GEE:</b> Gases de Efeito Estufa	<b>t:</b> tonelada
<b>GNL:</b> Gás Natural Liquefeito	<b>TCFA:</b> Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental
<b>GWh:</b> Gigawatt-hora	<b>tep:</b> tonelada equivalente de petróleo
<b>Ibama:</b> Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis	<b>TJ:</b> Terajoule
<b>IPCC:</b> Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima	<b>TWh:</b> Terawatt-hora
<b>kg:</b> Quilogramas	<b>UNFCCC:</b> Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
	<b>Vulcan:</b> Vulcan Fundo de Investimento em Participações Multiestratégia





# SUMÁRIO

<b>1. GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA</b> .....	<b>10</b>
1.1 Evolução da geração de energia elétrica no Brasil: o aumento da participação das fontes fósseis e o escopo coberto neste inventário .....	10
1.2 Geração de eletricidade nas termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público do SIN em 2020 .....	13
1.2.1 Geração de eletricidade por subsistema, estado e município .....	18
<b>2. EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA</b> .....	<b>21</b>
2.1 Emissões de gases de efeito estufa nas termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público do SIN em 2020 .....	21
2.1.1 Emissões de gases de efeito estufa por subsistema, estado e município .....	23
2.2 Eficiência energética das termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público do SIN em 2020 .....	24
2.3 Taxas de emissão de CO <sub>2</sub> e das termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público do SIN em 2020 .....	27
<b>3. EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA POR EMPRESAS GERADORAS</b> .....	<b>30</b>
3.1 Taxas de emissão de CO <sub>2</sub> e das empresas geradoras .....	35
<b>4. EMISSÕES DE POLUENTES LOCAIS</b> .....	<b>37</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>40</b>
<b>6. METODOLOGIA DETALHADA</b> .....	<b>42</b>
6.1 Fontes de informação .....	42
6.1.1 Lista de termelétricas inventariadas e respectivas gerações de eletricidade .....	42
6.1.2 Identificação dos proprietários das usinas termelétricas inventariadas.....	43
6.1.3 Consumo de combustíveis fósseis por usina inventariada .....	44
6.1.4 Emissões de óxidos de nitrogênio por usina inventariada.....	46
6.2 Procedimentos de cálculo .....	46
6.2.1 Emissões de gases de efeito estufa por usina .....	46
6.2.2 Alocação da geração de eletricidade e das emissões aos proprietários das usinas.....	47
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>48</b>
<b>ANEXO: Estimativa simplificada de emissões de CO<sub>2</sub> e por termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público do SIN em 2021</b> .....	<b>50</b>

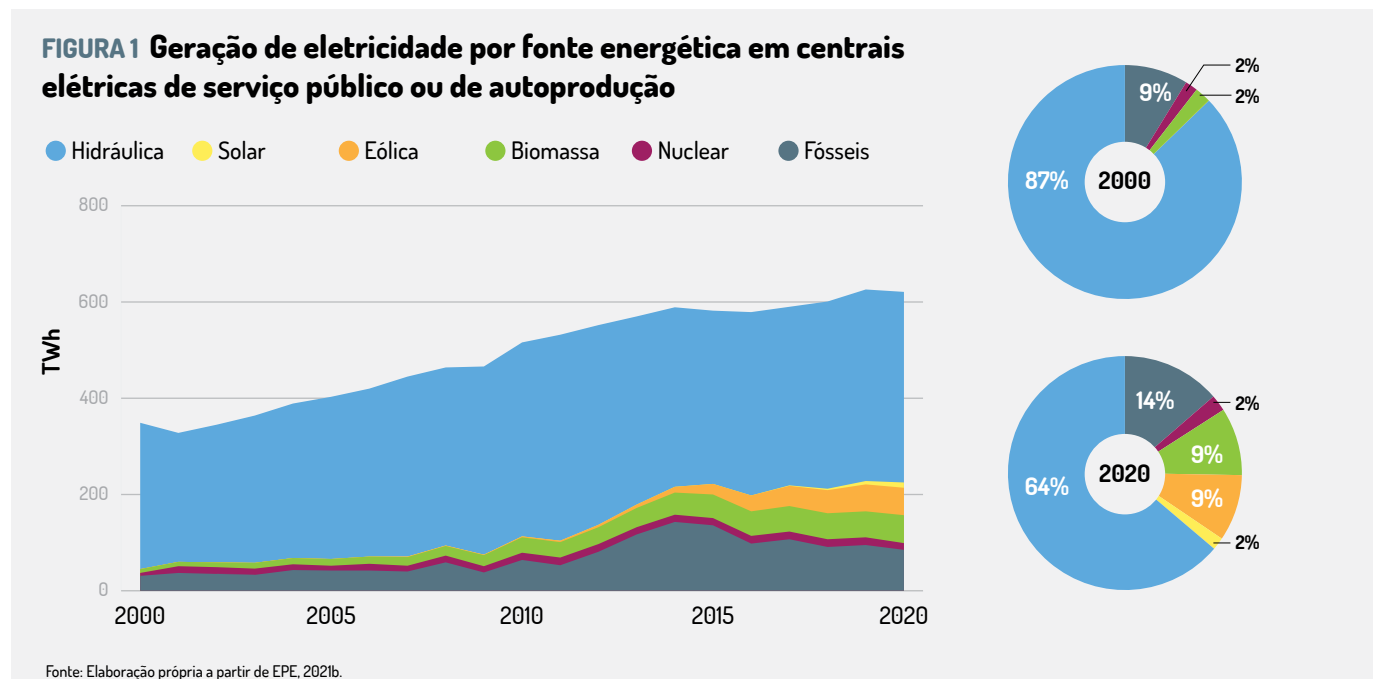
# 1. GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

## 1.1 Evolução da geração de energia elétrica no Brasil: o aumento da participação das fontes fósseis e o escopo coberto neste inventário

Desde o início dos anos 2000, a matriz elétrica brasileira passa por uma transição em que a expansão da capacidade instalada e da geração hidrelétricas tem ocorrido a taxas inferiores às observadas historicamente. Nas duas últimas décadas, a geração total de energia elétrica cresceu 78%, enquanto a geração por meio da fonte hidráulica experimentou uma ampliação de apenas 30%.

Conforme ilustra a figura abaixo, uma característica dessa transição na matriz é a crescente diversificação das fontes de geração para atender à evolução da demanda nacional por eletricidade. Tal diversificação é marcada, principalmente, pela ampliação da participação de fontes renováveis não hídricas - biomassa e eólica - e pela expansão do uso de combustíveis fósseis.

No que se refere especificamente à termelétricidade fóssil, a geração passou de 30,6 TWh em 2000, para 84,8 TWh em 2020 (+177%). Não por acaso, o total de emissões de gases de efeito estufa no setor elétrico brasileiro cresceu em 90% de 2000 para 2020 (SEEG, 2021).



Vale lembrar que a termelétricidade fóssil pode ser proveniente tanto de centrais elétricas de serviço público quanto de centrais elétricas de autoprodutores. A base de dados de geração termelétrica utilizada para listar as usinas aqui inventariadas apresenta apenas centrais de serviço público do Sistema Interligado Nacional (SIN). Dessa maneira, este inventário tem

como escopo as termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público<sup>1</sup> que disponibilizaram energia ao SIN em 2020.

### BOX 1 - CENTRAIS ELÉTRICAS DE AUTOPRODUTORES

Autoprodutores são consumidores que investem em centrais elétricas próprias para suprir total ou parcialmente suas demandas por eletricidade. Quando a geração de energia elétrica em uma usina de autoprodutor é maior do que o montante consumido, é possível comercializar e injetar o excedente nas redes públicas de transmissão e distribuição.

Em 2020, as usinas de autoprodutores geraram 106,5 TWh, o que equivale a 17% do total de energia elétrica ofertado no Brasil (EPE, 2021b).

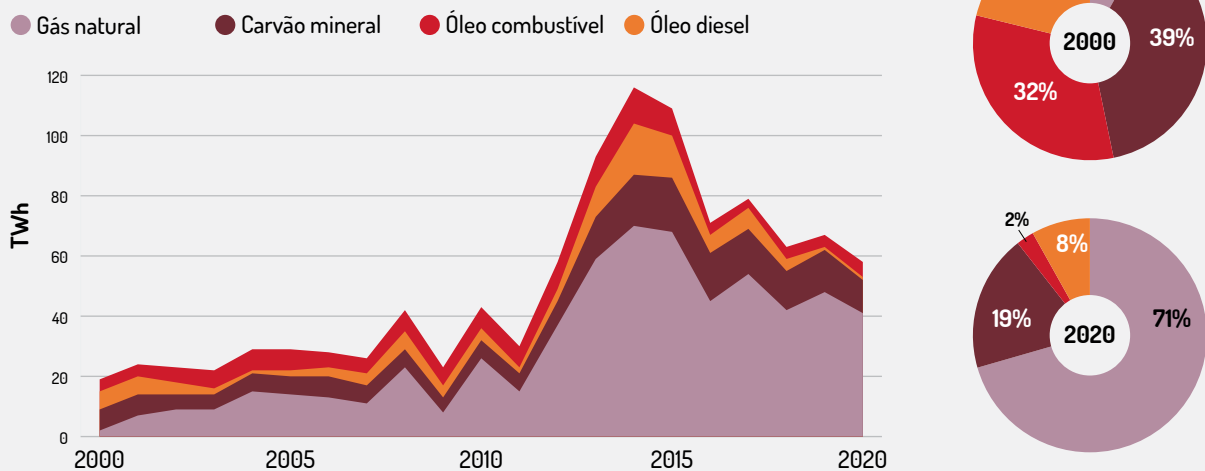
Considerando apenas a termelétricidade fóssil, o montante de energia gerada em 2020 nas mais de 60 térmicas fósseis de autoprodutores foi de 27,1 TWh, valor que representou 32% de toda geração fóssil no país (EPE, 2021b). No conjunto, essas usinas fósseis de autoprodutores emitiram cerca de 12,5 milhões de toneladas de gases de efeito estufa (SEEG, 2021).

Diversas instalações industriais utilizam autoprodução de eletricidade, muitas vezes como forma de reduzir custos e aproveitar fontes energéticas vinculadas ao processo industrial em questão (exploração de petróleo e gás, produção de açúcar e álcool, siderurgia etc.).

A produção de combustíveis é a principal atividade econômica a utilizar autoprodução fóssil: em 2020, 48% (13,0 TWh) da eletricidade gerada nessa modalidade foi proveniente de usinas vinculadas à exploração de petróleo e gás ou ao refino de petróleo (EPE, 2021a). O gás natural é a principal fonte energética utilizada na geração dedicada de energia elétrica para a indústria de combustíveis. Uma prática bastante comum, por exemplo, é a utilização do gás diretamente retirado dos poços de petróleo para geração de eletricidade a ser utilizada no maquinário da própria planta de exploração.

Atentando-se exclusivamente à geração de energia elétrica de origem fóssil nas usinas de serviço público, é evidente o papel decisivo do gás natural no crescimento dessa categoria de geração. A figura a seguir mostra que a participação desse combustível na geração fóssil de serviço público passou de 8% em 2000 para 71% em 2020.

**FIGURA 2 Geração fóssil de eletricidade por combustível em centrais elétricas de serviço público do SIN e do Sisol**



Nota: Parte da geração fóssil de eletricidade em centrais elétricas de serviço público é proveniente de fontes não identificadas diferentes do gás, do carvão, do óleo combustível e do diesel. No entanto, por simplificação, essas outras fontes fósseis não estão explicitadas na figura, uma vez que representam menos de 1% do total gerado em cada ano da série histórica.

Fonte: Elaboração própria a partir de EPE, 2021b.

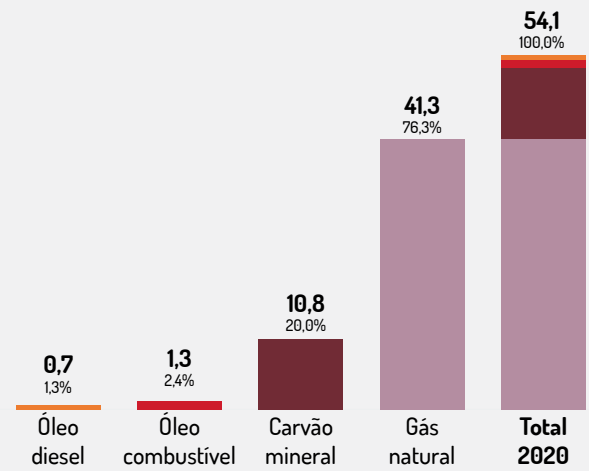
1 Neste trabalho, apenas uma termelétrica - a U-50, vinculada à Refinaria Abreu e Lima - consta como usina de autoprodução no cadastro de centrais elétricas disponibilizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel, 2021e). No entanto, foi aqui considerada como geração de serviço público a parcela de eletricidade que tal planta injetou no Sistema Interligado Nacional (SIN), conforme reportado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) em seu boletim diário da operação (ONS, 2021).

É importante salientar que as centrais elétricas de serviço público podem estar conectadas ao SIN, possibilitando a transferência de energia entre diferentes regiões do país, ou fazer parte de um Sistema Isolado (Sisol), atendendo apenas localidades específicas<sup>2</sup>.

Além dos sistemas isolados representarem apenas cerca de 5% da geração total de termelétricidade fóssil nas centrais de serviço público<sup>3</sup>, esses sistemas são supridos por várias pequenas ou médias usinas com pouca disponibilidade de informações. Assim, frisa-se, mais uma vez, que **este inventário foca apenas nas usinas fósseis de serviço público conectadas ao SIN que operaram em 2020**.

**Em 2020, a geração termelétrica proveniente desse conjunto de usinas inventariadas foi de 54,1 TWh.** Ao todo, 41,3 TWh foram produzidos a partir do gás natural, o que corresponde a 76% do total. O carvão mineral, segundo em participação, foi responsável pela geração de 10,8 TWh, contribuindo, portanto, com 20% da produção de eletricidade fóssil. Já os derivados de petróleo, óleo combustível e óleo diesel, tiveram participação muito mais discreta, com produção conjunta menor que 2 TWh (4%)<sup>4</sup>.

**FIGURA 3 Geração fóssil de eletricidade por combustível em centrais elétricas de serviço público do SIN no ano de 2020 (TWh)**



- 2 Os sistemas isolados se encontram principalmente em municípios distantes das linhas de transmissão e que ainda não puderam ser conectados ao SIN por motivos técnicos e/ou econômicos. A grande maioria desses sistemas se encontra na Região Norte do país e é, hoje, abastecida por usinas a óleo diesel.
- 3 Em 2019, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) projetou que a geração em termelétricas a combustíveis fósseis presentes nos sistemas isolados seria responsável pela emissão de 2,9 milhões de toneladas de gases de efeito estufa em 2020 (EPE, 2019).
- 4 Uma termelétrica é projetada para utilizar um combustível em especial, chamado de principal. Em complemento ao combustível principal, é possível que uma usina utilize, geralmente em quantidades bastante inferiores, um ou dois outros combustíveis, chamados de secundários. As informações de geração por usina disponibilizadas pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) não especificam o quanto de eletricidade foi proveniente de cada categoria de combustível (ONS, 2021). No entanto, sabe-se que apenas 22 de um total de 72 plantas utilizaram combustíveis secundários em 2020. Contabilizando os combustíveis utilizados nessas 72 plantas em termos de toneladas equivalentes de petróleo (tep), somente 2% do total se refere a combustíveis secundários. Neste inventário, optou-se, então, por relacionar a eletricidade gerada em cada usina apenas a seu combustível principal.



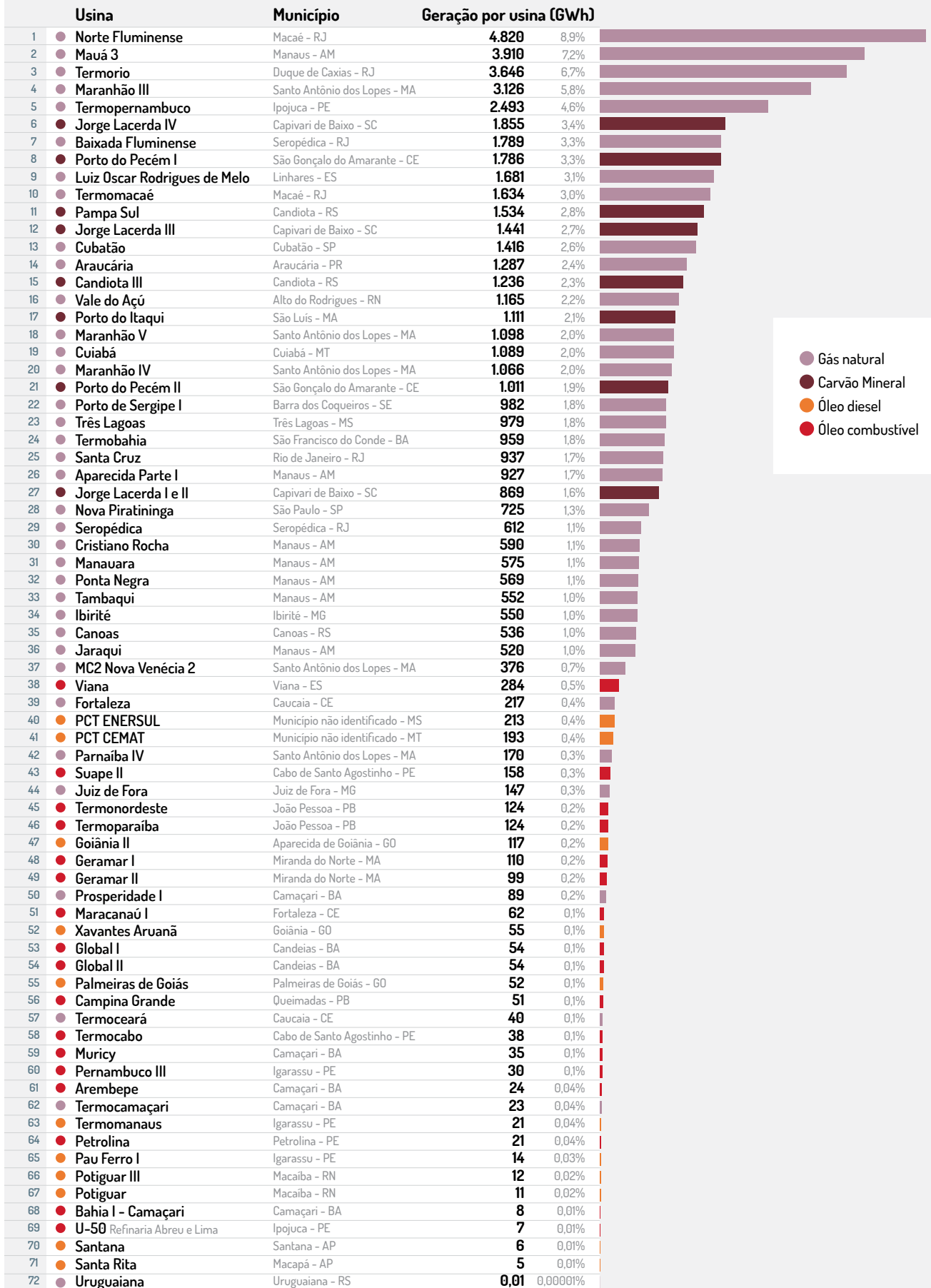
## 1.2 Geração de eletricidade nas termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público do SIN em 2020

Em 2020, 72 termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público operaram no Sistema Interligado Nacional (SIN), gerando 54,1 TWh: 36 plantas movidas a gás natural como combustível principal, oito a carvão mineral, 17 a óleo combustível e 11 a óleo diesel. As gerações de cada uma delas, os respectivos combustíveis principais utilizados e os locais onde estão instaladas são explicitados na próxima figura.





**FIGURA 4 Eletricidade gerada por termelétrica fóssil de serviço público do SIN em 2020, com destaque para o combustível principal de cada planta**





Um ponto a destacar é a concentração da geração em um número relativamente pequeno de usinas. Nota-se na tabela a seguir que cinco usinas responderam por 33% da geração termelétrica aqui inventariada. Foram elas: Norte Fluminense, com 4,8 TWh (8,9%); Mauá 3, com 3,9 TWh (7,2%); Termorio, com 3,6 TWh (6,7%); Maranhão III, com 3,1 TWh (5,8%); e Termopernambuco, com 2,5 TWh (4,6%). Vale observar ainda que 49% da geração inventariada foi proveniente de apenas dez usinas e a quase totalidade da eletricidade produzida em 2020 (94%) foi disponibilizada ao SIN por somente metade do conjunto total de usinas.

Esta grande variação entre as usinas quanto ao montante de energia gerada resulta de uma série de fatores: custo de geração, restrições no sistema de transmissão, inflexibilidade (tempo mínimo de operação) declarada pelos empreendedores, projeções futuras de atendimento, disponibilidade de combustível, manutenções preventivas ou corretivas etc<sup>5</sup>. Dessa forma, os fatores de capacidade das usinas - que representam a porcentagem de eletricidade gerada em uma planta em relação a sua capacidade máxima de produção em um determinado intervalo de tempo - podem variar consideravelmente.

**TABELA 1 Número de usinas e participação no total de geração termelétrica inventariada**

Número de usinas (em ordem decrescente de geração)	Geração do grupo de usinas	Participação no total de geração
72 (conjunto total de usinas)	54,1 TWh	100%
36 maiores geradoras	51,1 TWh	94%
20 maiores geradoras	39,2 TWh	72%
10 maiores geradoras	26,7 TWh	49%
5 maiores geradoras	18,0 TWh	33%
3 maiores geradoras	12,4 TWh	23%
1 (maior geradora)	4,8 TWh	9%

## BOX 2 - FATOR DE CAPACIDADE

O fator de capacidade de uma central elétrica é a relação/razão entre a produção efetiva de eletricidade em um determinado intervalo de tempo e sua capacidade máxima de geração nesse mesmo período (energia que geraria se operasse na potência máxima em 100% do tempo analisado). Em outras palavras, significa a proporção entre a eletricidade fornecida e a capacidade instalada de um sistema de geração de energia.

Por exemplo, uma planta que poderia ter gerado 1.000 GWh de energia em um ano, mas só gerou 500 GWh, teve um fator de capacidade de 50%. Isso significa que a usina esteve operando em potência máxima durante 50% do tempo que poderia ou que operou com potência menor do que a máxima no período analisado.

A seguinte fórmula pode ser aplicada para cálculo do fator de capacidade de uma usina:

$$\text{Fator de Capacidade}_{usina} = \frac{E_{\Delta t}}{P * \Delta t}$$

### Sendo:

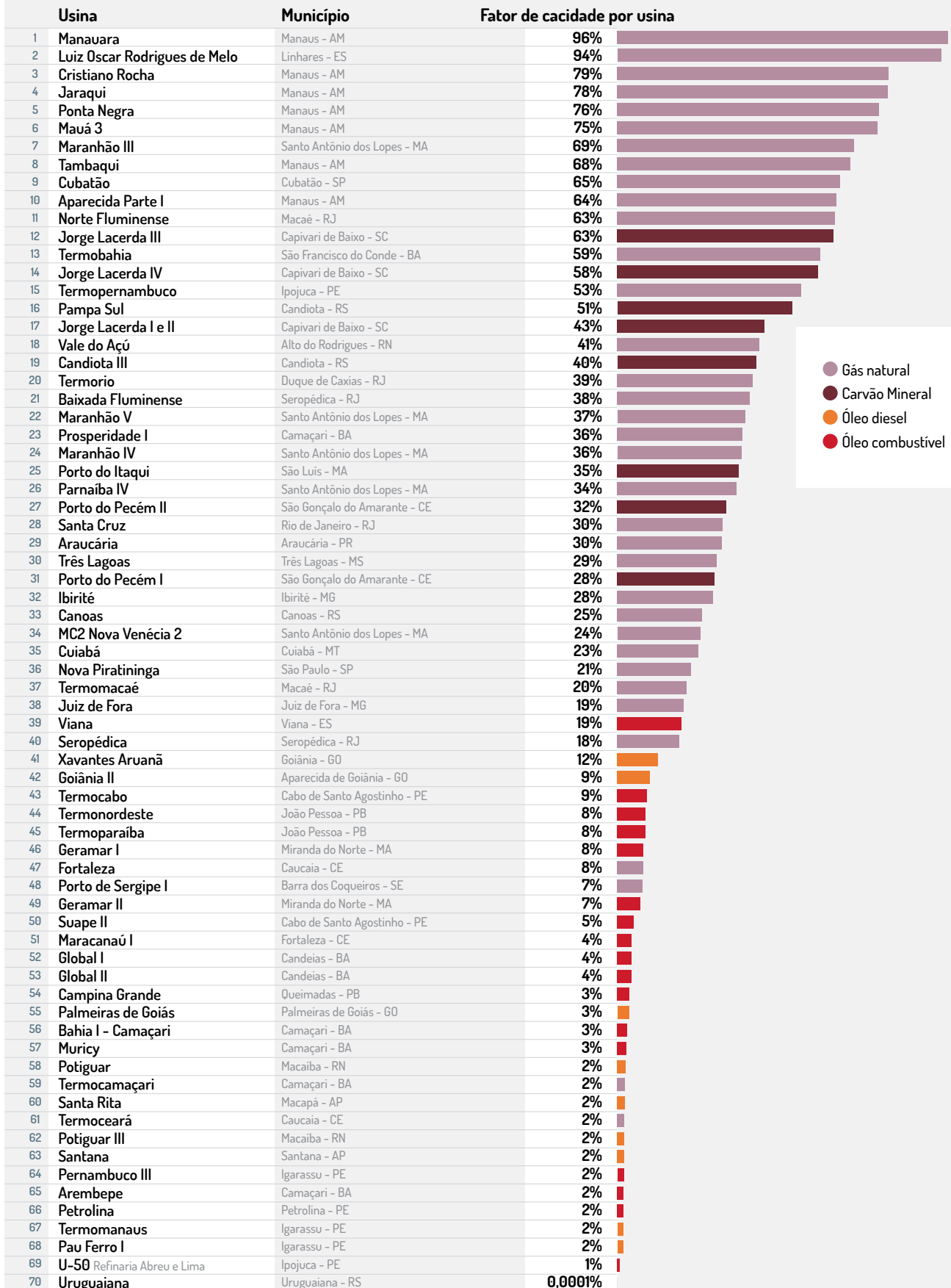
- $E_{\Delta t} [Wh]$  = Energia elétrica gerada no intervalo de tempo analisado
- $P [W]$  = Potência instalada da usina
- $\Delta t [h]$  = Intervalo de tempo analisado (em horas)

A figura 5 evidencia a grande variabilidade entre os fatores de capacidade das usinas. A usina Manauara, por exemplo, destaca-se como a planta que apresentou o maior fator de capacidade em 2020 (96%). Por outro lado, ela esteve apenas na 31ª posição no ranking de usinas que mais geraram (figura 4), o que indica sua baixa potência instalada frente a outras centrais termelétricas de serviço público.

<sup>5</sup> O ONS, responsável por coordenar e controlar a geração e a transmissão de energia elétrica no SIN, otimiza operacionalmente o sistema, determinando o despacho (energia gerada) das usinas instaladas nas diferentes regiões do país.



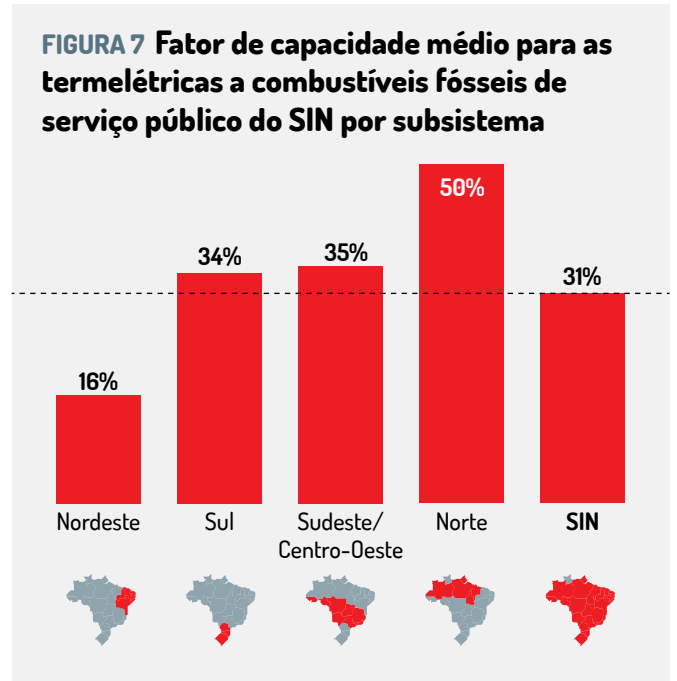
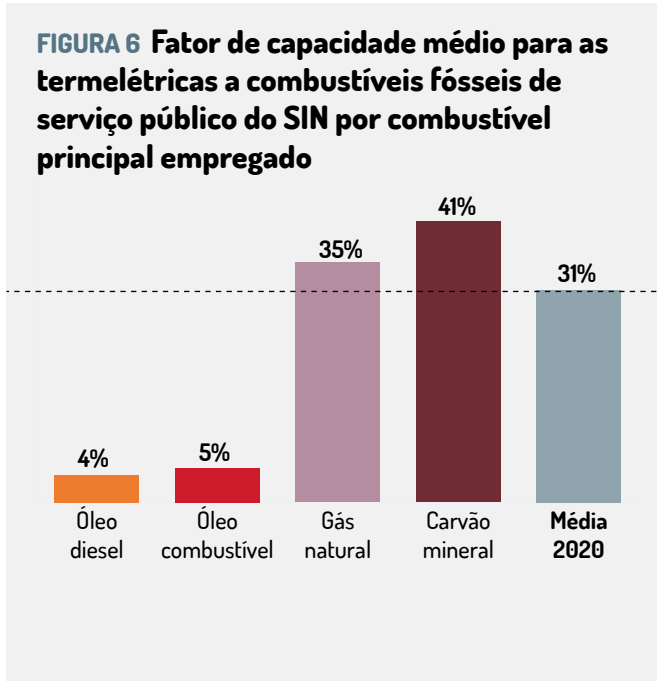
**FIGURA 5 Fator de capacidade por termelétrica fóssil de serviço público do SIN em 2020, com destaque para o combustível principal de cada planta**



Nota: Devido a falta de informações sobre suas potências instaladas, não foi possível calcular os fatores de capacidade das usinas a óleo diesel PCT CEMAT e PCT ENERSUL, que não estão representadas no gráfico.



Observa-se na figura anterior que usinas a gás natural apresentaram os maiores fatores de capacidade do país, especialmente aquelas localizadas em Manaus, capital do estado do Amazonas. No entanto, na média, foram as termelétricas a carvão mineral que mais operaram em 2020, tendo alcançado um fator de capacidade de 41%. Essa média foi puxada para cima pelas usinas a carvão localizadas em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul, que operaram a elevados fatores de capacidade.



Destaca-se também uma grande diferença entre os subsistemas<sup>6</sup> do SIN quanto ao fator de capacidade médio de suas usinas. No subsistema Norte, as usinas termelétricas operaram com um fator de capacidade médio de 50%, valor bem superior ao alcançado pelos demais<sup>7</sup>. Já o subsistema Nordeste, apesar de abrigar a maior capacidade de geração termelétrica do país, operou ao menor fator de capacidade, 16%.

6 O SIN é composto por quatro subsistemas: Subsistema Sul (S), composto inteiramente pela Região Sul do Brasil; Subsistema Sudeste/Centro-Oeste (SE/CO), formado pelas Regiões Sudeste e Centro-Oeste, além dos estados do Acre e de Rondônia; Subsistema Nordeste (NE), composto pelos estados da Região Nordeste do país, com exceção do Maranhão; e Subsistema Norte (N), constituído pelos estados de Amapá, Amazonas, Pará, Tocantins e Maranhão. Roraima é o único estado com nenhuma região conectada ao SIN e que, portanto, ainda não pertence a um subsistema.

7 No subsistema Norte, termelétricas instaladas no município de Manaus (AM) operaram sob contratos com características de sistemas isolados, na modalidade de compra de energia por quantidade, que as autorizam a funcionar o máximo de tempo possível. Assim, essas usinas podem funcionar o ano todo e não só em demandas específicas, como é o caso da muitas usinas do SIN, contratadas por disponibilidade.

## 1.2.1 Geração de eletricidade por subsistema, estado e município

A próxima figura ilustra os subsistemas e as regiões geográficas onde se localizam as usinas aqui inventariadas.

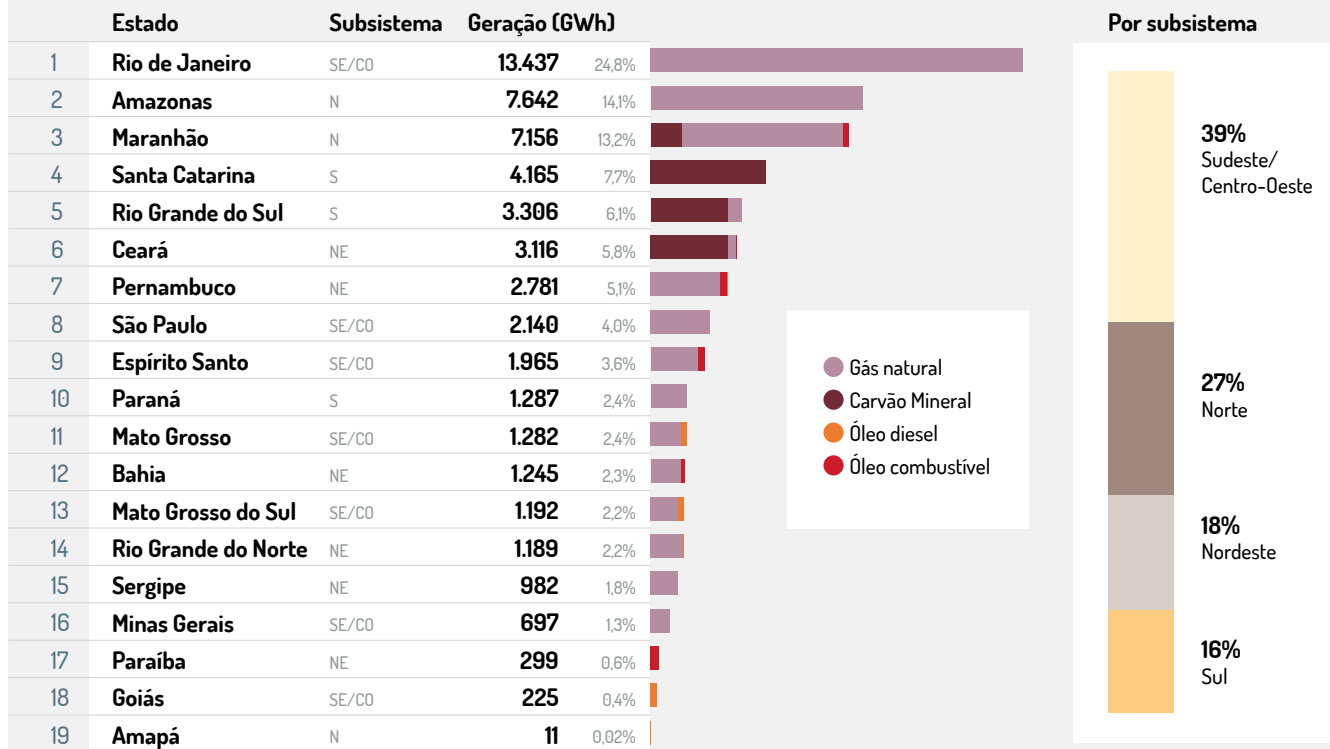


Apesar do subsistema Nordeste concentrar o maior número de usinas (28 unidades), é possível verificar na figura 9 que o subsistema Sudeste/Centro-Oeste, com 19 usinas, foi o que mais gerou energia elétrica em 2020 (39% do total inventariado).

Chama atenção a grande concentração de termogeração elétrica em poucas unidades da federação: 81% da eletricidade aqui inventariada foi produzida em apenas oito estados, sendo que três deles (Rio de Janeiro, Amazonas e Maranhão) responderam por 52% do total de energia elétrica fóssil produzida no país. Sozinho, o Rio de Janeiro produziu 25% de toda a termelétricidade fóssil proveniente de centrais de serviço público do SIN (13,4 TWh), o que o torna a unidade da federação com a maior geração.



**FIGURA 9** Geração fóssil de eletricidade em centrais elétricas de serviço público do SIN no ano de 2020, segundo combustível, estado e subsistema

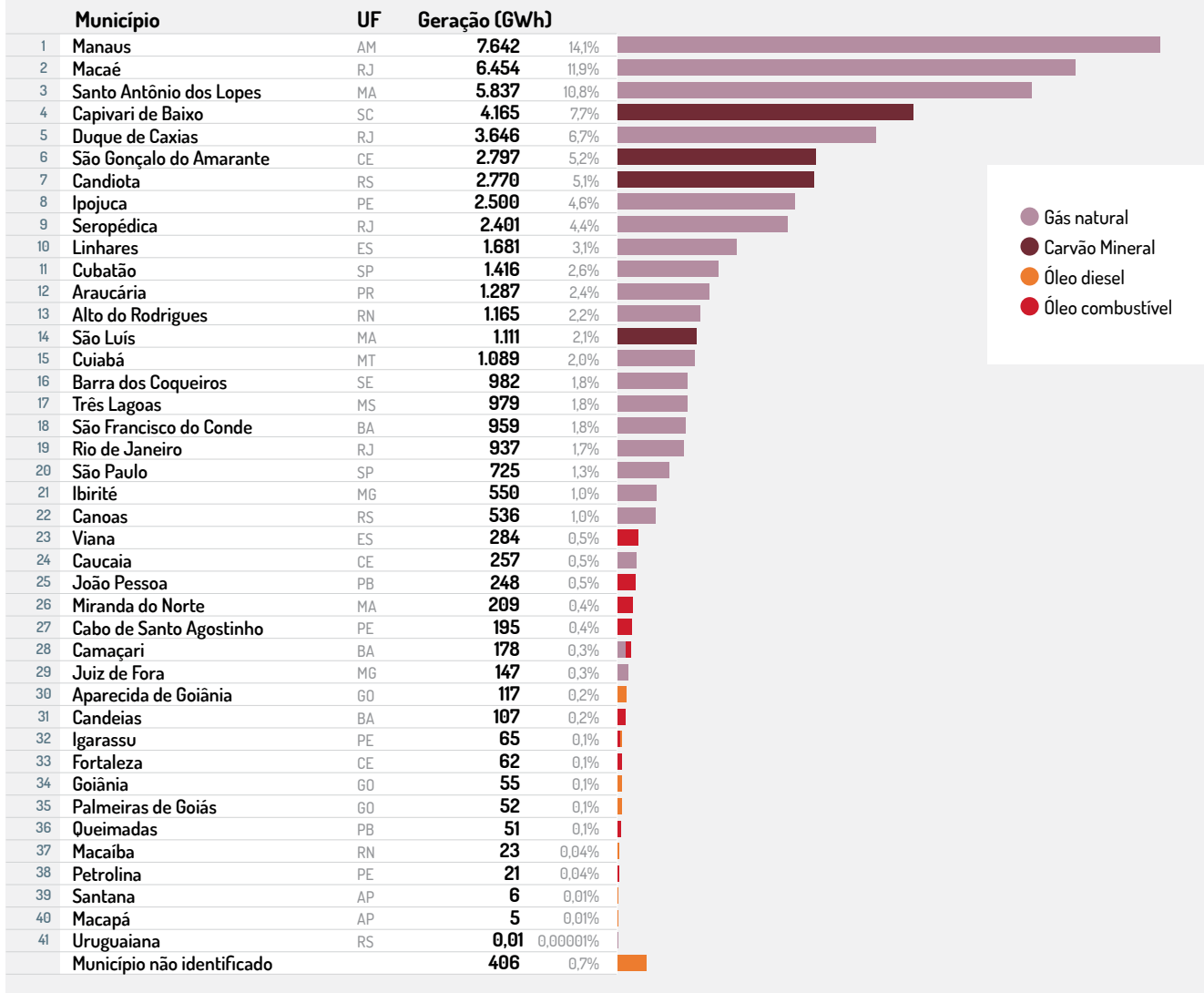


Ainda que as termelétricas a combustíveis fósseis do SIN estejam distribuídas em 41 municípios, a geração de 2020 esteve concentrada em poucos deles. Aproximadamente 51% da energia inventariada foi gerada em apenas cinco cidades:

- **Manaus (AM)**, onde se encontram usinas que apresentaram alto fator de capacidade em 2020;
- **Macaé (RJ)**, sede da termelétrica Norte Fluminense, maior geradora do ano de 2020, e também da usina Termomacaé;
- **Santo Antônio dos Lopes (MA)**, cidade onde está instalado o Conjunto Termelétrico Paraíba;
- **Capivari de Baixo (SC)**, município do conjunto a carvão mineral Jorge Lacerda;
- **Duque de Caxias (RJ)**, onde está situada a usina Termorio, segunda maior termelétrica em potência instalada do país (1.058 MW).



**FIGURA 10** Geração fóssil de eletricidade em centrais elétricas de serviço público do SIN no ano de 2020, segundo combustível e município



# 2. EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

## 2.1 Emissões de gases de efeito estufa nas termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público do SIN em 2020

Ao todo, as 72 usinas aqui inventariadas emitiram 32,7 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) em 2020. Essas emissões se concentraram em um número relativamente pequeno de termelétricas: 49% dos gases de efeito estufa emitidos em 2020 foram de responsabilidade de somente dez usinas - seis delas têm o carvão mineral como combustível principal e outras quatro utilizam o gás natural. Ademais, a quase totalidade do CO<sub>2</sub>e aqui inventariado (94%) foi proveniente de apenas 36 plantas, o que representa a metade das usinas fósseis de serviço público do Sistema Interligado Nacional (SIN).

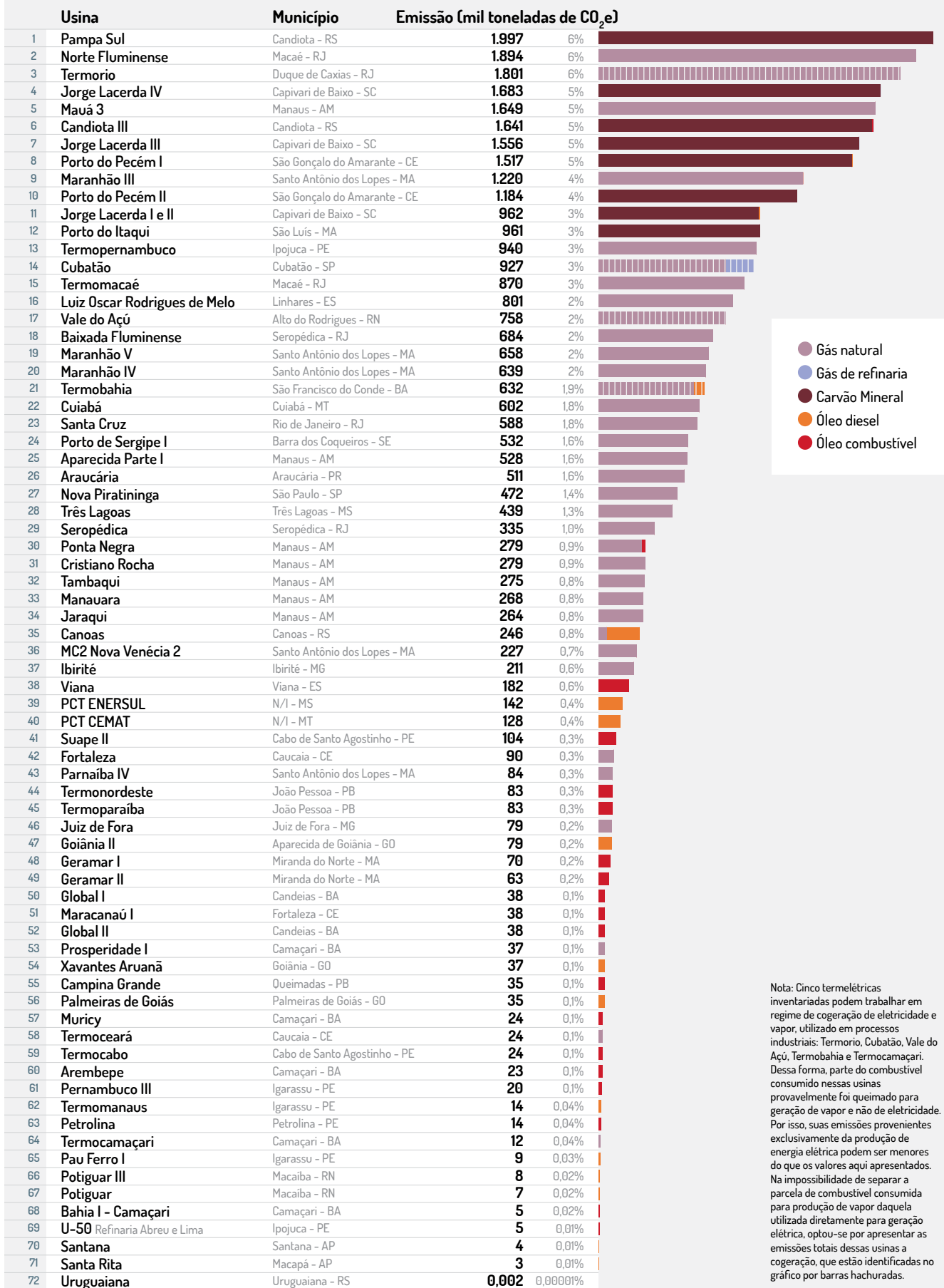
A figura 11 ilustra a distribuição das emissões de gases de efeito estufa por usina, além de especificar os combustíveis queimados e que, portanto, geraram emissões em cada uma delas. Já a tabela 2 quantifica o fato citado no parágrafo anterior: pequenos grupos de térmicas concentraram a maior parte das emissões.

**TABELA 2 Número de usinas e participação no total de emissões de gases de efeito estufa**

Número de usinas (em ordem decrescente de emissões)	Emissões do grupo de usinas (toneladas de CO <sub>2</sub> e)	Participação no total de emissões
72 (total de usinas)	32,7 milhões	100%
36 maiores emissoras	30,8 milhões	94%
20 maiores emissoras	24,3 milhões	75%
10 maiores emissoras	16,1 milhões	49%
5 maiores emissoras	9,0 milhões	28%
3 maiores emissoras	5,7 milhões	17%
1 (maior emissora)	2,0 milhões	6%



**FIGURA 11 Emissões de gases de efeito estufa por termelétrica fóssil de serviço público do SIN em 2020, com destaque para os combustíveis utilizados em cada planta**

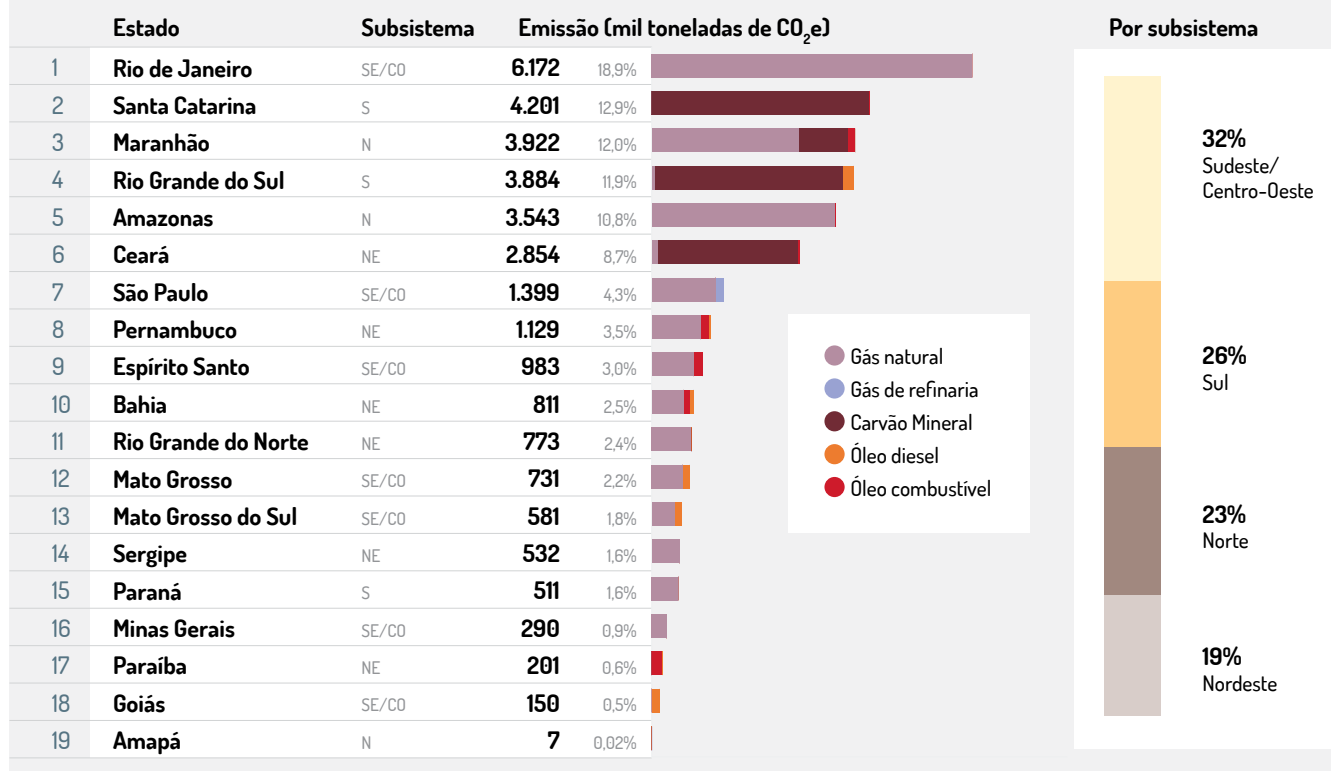


## 2.1 Emissões de gases de efeito estufa por subsistema, estado e município

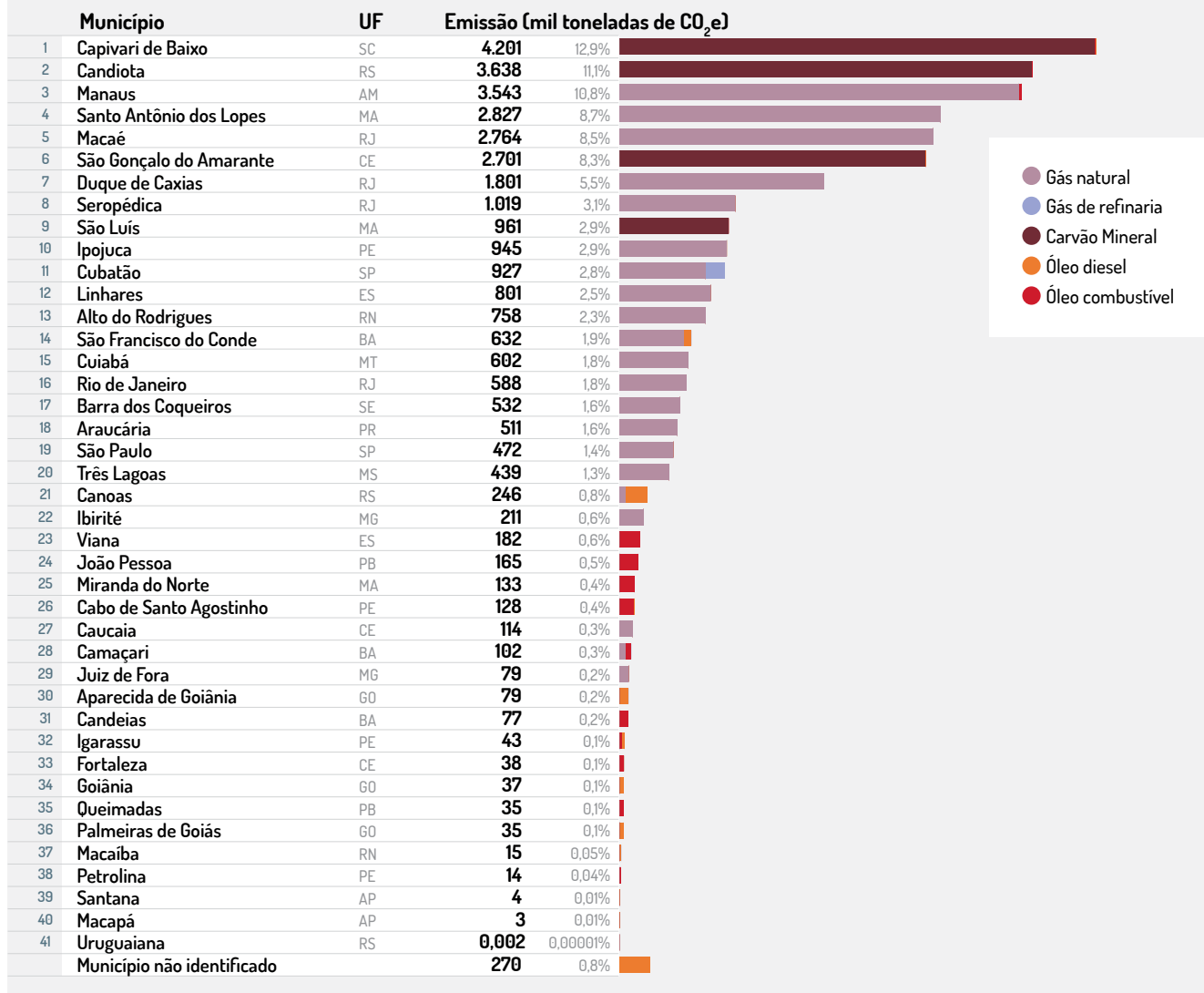
Conforme a figura 12, o subsistema Sudeste/Centro-Oeste foi o maior emissor de 2020, sendo responsável por 32% do total de emissões inventariadas, principalmente devido ao importante montante de energia produzida no estado do Rio de Janeiro.

O segundo maior emissor foi o subsistema Sul, que, apesar de ter produzido apenas 16% da energia elétrica inventariada, emitiu 26% dos gases de efeito estufa. Isso porque nesse subsistema se encontram cinco das oito usinas brasileiras a carvão mineral, combustível intensivo em carbono. Os municípios de Capivari de Baixo, em Santa Catarina, e Candiota, no Rio Grande do Sul, onde se localizam essas cinco usinas, são os dois maiores emissores do país, emitindo quase um quarto do total inventariado (figura 13).

**FIGURA 12 Emissões de gases de efeito estufa em termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público do SIN no ano de 2020, segundo combustível, estado e subsistema**



**FIGURA 13 Emissões de gases de efeito estufa em termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público do SIN no ano de 2020, segundo combustível e município**



## 2.2 Eficiência energética das termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público do SIN em 2020

Comparando o *ranking* de eletricidade gerada por usina (figura 4) com o de emissões (figura 11), observa-se que o posicionamento de cada termelétrica não necessariamente é igual nas duas listagens. A Termopernambuco, por exemplo, é a quinta térmica fóssil que mais produziu energia elétrica em 2020 (4,6% do total gerado no recorte deste inventário), mas é a 13ª maior emissora, emitindo 2,9% do montante aqui inventariado. A usina Pampa Sul, por outro lado, está em primeiro lugar no *ranking* de emissões - respondendo por 6,1% do total em 2020 - e, no entanto, apresenta-se como a 11ª em termos de geração elétrica - sendo responsável por apenas 2,8% do total de energia elétrica produzida.

Isso ocorre porque as emissões de gases de efeito estufa de uma usina termelétrica não estão associadas apenas ao montante de energia elétrica gerada e ao tipo de combustível queimado<sup>8</sup> (carvão mineral, gás natural ou derivados de petróleo). A eficiência energética de operação

8 Ao serem queimados, combustíveis com intensidade de carbono mais elevadas, como é o caso do carvão mineral, emitem maior quantidade de gases de efeito estufa para prover a mesma quantidade de energia que seria fornecida por fontes menos intensivas em carbono, como o gás natural.



de uma planta de geração também influencia fortemente suas emissões.

A eficiência energética de uma usina termelétrica indica a parcela da energia liberada pelo combustível que é convertida em eletricidade. Assim, quanto menor a eficiência, maior é a parcela de energia contida no combustível que é rejeitada para o meio ambiente na forma de calor e, portanto, não convertida em eletricidade. Em termos mais concretos, usinas mais eficientes queimam menos combustível e emitem menos gases de efeito estufa por gigawatt-hora (GWh) produzido.

A eficiência energética de uma usina termelétrica é influenciada por vários fatores, tais como condições de manutenção, idade e temperatura ambiente, mas o principal determinante é o arranjo tecnológico utilizado, comumente denominado como ciclo de potência ou tecnologia de conversão. São quatro os ciclos de potência comercialmente mais utilizados - Rankine, Brayton (ou ciclo aberto), ciclo combinado e motor de combustão interna. Cada um desses ciclos apresenta faixas de eficiência energética específicas e é mais apropriado para determinados combustíveis (IEMA, 2016).

### BOX 3 - TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA - CICLOS DE POTÊNCIA

**Ciclo Rankine:** O ciclo Rankine é o ciclo de potência básico para geração de eletricidade com turbinas a vapor, ainda hoje utilizado na grande maioria das usinas termelétricas em operação no mundo. Praticamente todas as centrais elétricas a carvão mineral operam com esse ciclo, mas outros combustíveis também podem ser empregados. Nesse arranjo tecnológico, a queima do combustível em uma caldeira externa produz energia térmica, aquecendo um fluido interno, comumente água. Com o aumento de sua temperatura, esse fluido passa para o estado de vapor, superaquecido e a alta pressão. Esse vapor, por sua vez, movimenta uma turbina acoplada a um gerador elétrico, produzindo energia elétrica. Para fechar o circuito, o vapor é resfriado/condensado, voltando ao estado líquido, o que possibilita que o processo se reinicie quando o fluido for, então, reaquecido por meio da caldeira de combustão.

**Ciclo Brayton (ou aberto):** O ciclo Brayton é utilizado para geração de eletricidade com turbinas a gás. Nessa tecnologia, a queima do combustível, comumente gás natural, ocorre em uma câmara de combustão, gerando gases de exaustão em alta temperatura e pressão. Esses mesmos gases são injetados em uma turbina, acoplada a um gerador elétrico. A injeção desses gases rotaciona a turbina e, conseqüentemente, o gerador, produzindo eletricidade. Os gases de exaustão ainda quentes (entre cerca de 500 e 650 °C) são, então, liberados para a atmosfera por meio da chaminé da usina.

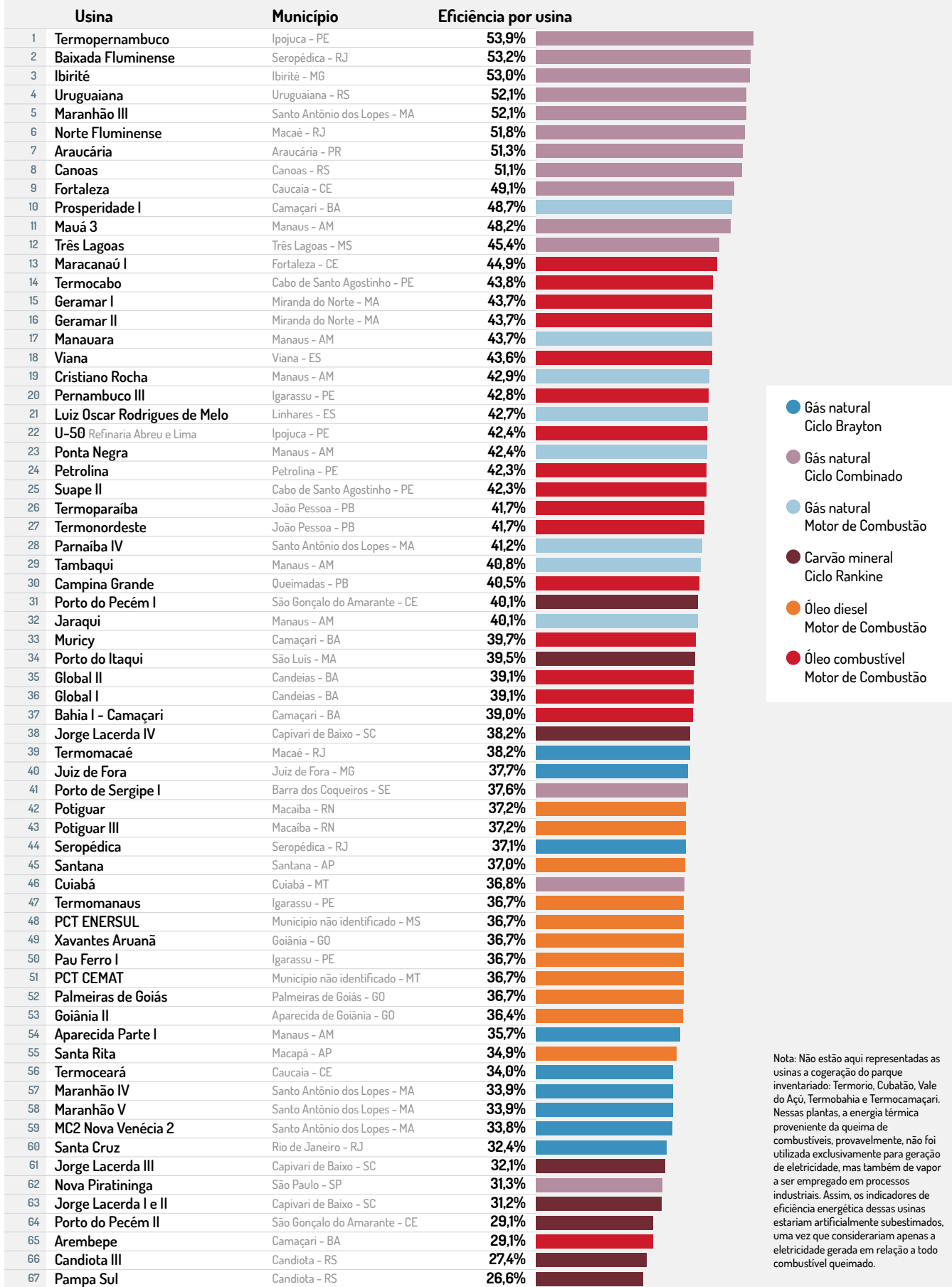
**Ciclo combinado:** O ciclo combinado, como o nome sugere, resulta da união entre os ciclos Rankine e Brayton. Os gases de exaustão a altas temperaturas da turbina a gás (ciclo Brayton), que antes seriam enviados para a atmosfera, são aproveitados como fonte de calor para gerar o vapor no ciclo Rankine. Assim, em condições usuais, usinas termelétricas que adotam essa tecnologia são mais eficientes do que usinas que operam isoladamente a ciclo Rankine ou a Brayton.

**Motor de combustão interna:** Os motores a combustão interna são aqueles em que o combustível é queimado dentro do equipamento, movimentando um mecanismo constituído por pistão, biela e virabrequim, a exemplo do que ocorre em veículos automotores. A produção de eletricidade se dá pelo acoplamento desses motores a geradores elétricos.

O parque termelétrico que forneceu energia elétrica ao SIN em 2020 a partir de centrais de serviço público movidas a combustíveis fósseis foi formado por: 18 usinas a ciclo combinado, dez a ciclo Brayton, oito a Rankine e 36 utilizando motores de combustão interna. Todas as usinas a ciclo combinado ou Brayton tiveram o gás natural como combustível principal. Já as térmicas a ciclo Rankine foram movidas a carvão mineral. Por outro lado, houve três categorias de plantas que utilizaram motores de combustão interna: as movidas a gás natural (oito exemplares), as movidas a óleo combustível (17 usinas) e aquelas a óleo diesel (11).

A próxima figura traz o *ranking* de eficiência energética das usinas inventariadas, explicitando os respectivos ciclos de potência e os combustíveis principais utilizados. Nota-se que a eficiência, via de regra, está correlacionada ao ciclo de potência das usinas.

**FIGURA 14 Eficiência energética por termelétrica fóssil de serviço público do SIN em 2020, com destaque para o ciclo de potência e o combustível principal de cada planta**



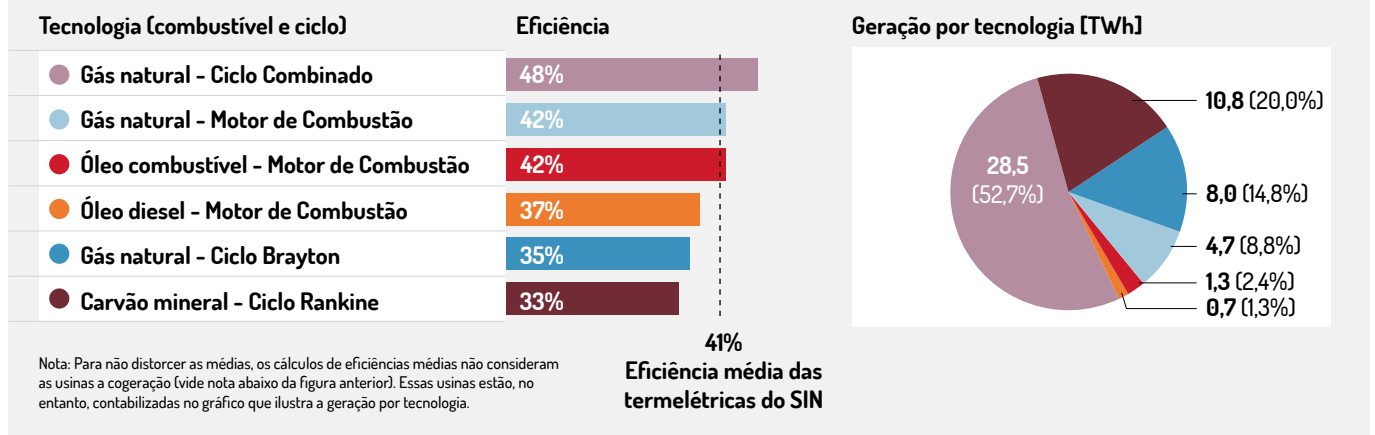
Nota: Não estão aqui representadas as usinas a cogeração do parque inventariado: Termorio, Cubatão, Vale do Açú, Termobahia e Termocamaçari. Nessas plantas, a energia térmica proveniente da queima de combustíveis, provavelmente, não foi utilizada exclusivamente para geração de eletricidade, mas também de vapor a ser empregado em processos industriais. Assim, os indicadores de eficiência energética dessas usinas estariam artificialmente subestimados, uma vez que considerariam apenas a eletricidade gerada em relação a todo combustível queimado.

As usinas a ciclo combinado se mostraram como as mais eficientes<sup>9</sup>, tendo, em 2020, ocupado os primeiros nove lugares no *ranking* de eficiência do parque termelétrico fóssil de serviço público.

No extremo inferior de eficiência estão as térmicas a carvão mineral. Dentre as dez usinas com mais baixa eficiência energética, cinco são movidas a carvão, das quais se sobressaem negativamente a Pampa Sul e a Candiota III. Por outro lado, vale destacar as usinas Porto do Pecém I, Porto do Itaqui e Jorge Lacerda IV por serem relevantemente mais eficientes que as outras cinco usinas a carvão mineral do parque brasileiro.

A eficiência média do conjunto de usinas que operaram em cada combinação ciclo-combustível, bem como a eficiência média de todo o parque inventariado estão evidenciadas na figura 15.

**FIGURA 15** Eficiência energética média e geração de eletricidade total por ciclo de potência e combustível das termelétricas de serviço público do SIN em 2020



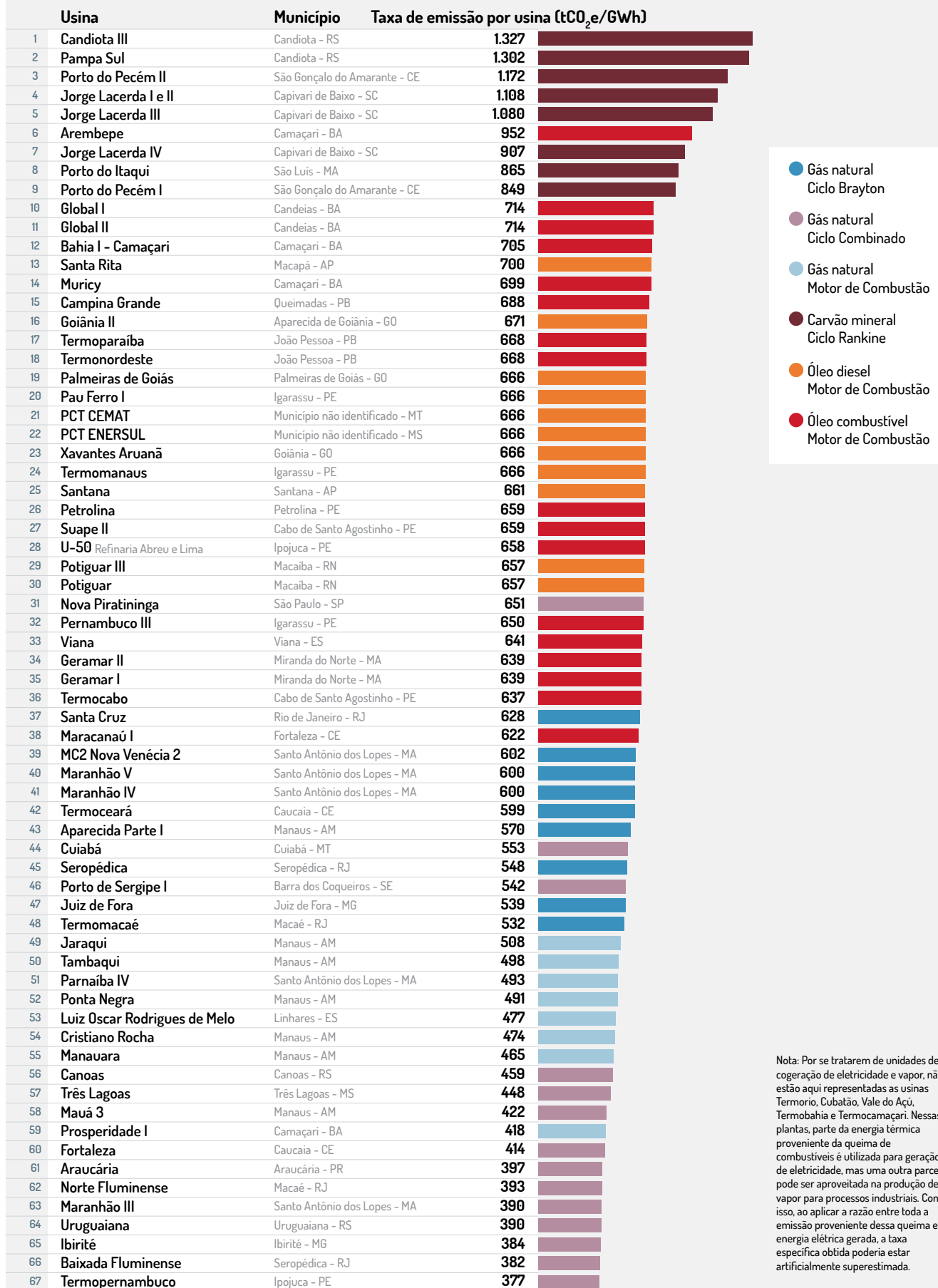
## 2.3 Taxas de emissão de CO<sub>2</sub> e das termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público do SIN em 2020

Os níveis absolutos de emissão são úteis para entender as contribuições de cada usina no total emitido no SIN. Porém, para uma avaliação comparativa do desempenho dessas termelétricas, o indicador mais adequado é a taxa de emissão, determinada pela razão entre as emissões e a eletricidade gerada por uma planta.

As taxas de emissão para as usinas inventariadas estão apresentadas em ordem decrescente na figura a seguir, que ainda destaca o ciclo de potência e o combustível principal de cada empreendimento, duas características que, como discutido nos parágrafos acima, influenciam as emissões. Já a figura 17 consolida os valores médios do SIN para o ano de 2020.

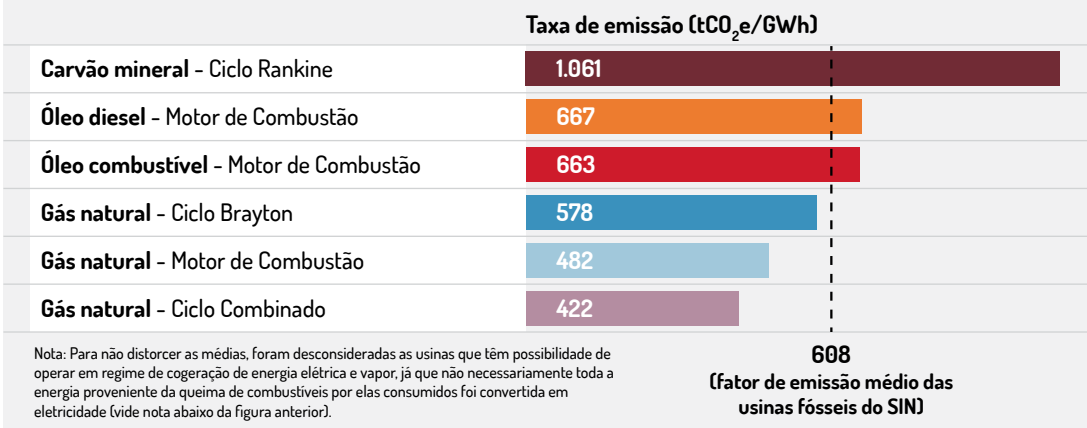
<sup>9</sup> As usinas Porto de Sergipe I, Cuiabá e Nova Piratininga são discrepantes quando comparadas às outras usinas a ciclo combinado. As três apresentaram, além de baixa eficiência, um fator de capacidade aquém da maioria das usinas que utilizam essa tecnologia, indicando que podem ter operado somente a ciclo Brayton em dados momentos ou terem passado por paradas para manutenção.

**FIGURA 16 Taxa de emissão específica por termelétrica fóssil de serviço público do SIN em 2020, com destaque para o ciclo de potência e o combustível principal de cada planta**



Nota: Por se tratarem de unidades de cogeração de eletricidade e vapor, não estão aqui representadas as usinas Termorio, Cubatão, Vale do Açu, Termobahia e Termocamaçari. Nessas plantas, parte da energia térmica proveniente da queima de combustíveis é utilizada para geração de eletricidade, mas uma outra parcela pode ser aproveitada na produção de vapor para processos industriais. Com isso, ao aplicar a razão entre toda a emissão proveniente dessa queima e a energia elétrica gerada, a taxa específica obtida poderia estar artificialmente superestimada.

**FIGURA 17 Taxa de emissão média para as termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público do SIN por combustível principal e ciclo de potência**



**BOX 4 - TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO TERMELETRICA E TAXAS DE EMISSÃO**

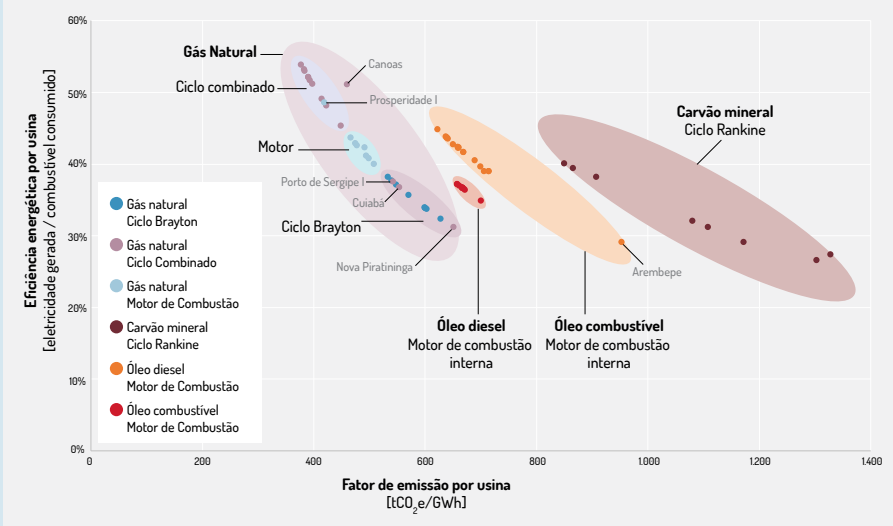
O gráfico a seguir (figura 18) relaciona a eficiência energética de cada usina à sua respectiva taxa de emissão de gases de efeito estufa. Cada ponto representa uma usina e é possível perceber quatro *clusters* (aglomerados/grupos) bem claros: (1) plantas a gás natural, (2) a óleo diesel com motor de combustão interna, (3) a óleo combustível também com motor, e (4) a carvão mineral com ciclo Rankine. Os pontos referentes a usinas a carvão estão mais à direita, já que o carvão se trata de uma fonte mais intensiva em carbono emitido por combustível queimado. Por outro lado, os pontos referentes a usinas a gás se concentram à esquerda do gráfico, uma vez que tal combustível é menos intensivo em carbono. Dentro de cada *cluster*, as termelétricas mais eficientes se localizam na parte superior da figura. No aglomerado relativo ao gás natural, isso evidencia três subgrupos: (i) usinas a ciclo combinado (eficiências mais altas), (ii) a motor de combustão interna (eficiências intermediárias), e (iii) a ciclo Brayton (eficiências menores).

Chama atenção o fato de algumas usinas a gás natural com ciclo combinado estarem em posições atípicas, configurando-se como pontos chamados de *outliers*. A Canoas é uma *outlier* e se localiza mais à direita do *cluster* de ciclo combinado pelo fato de, em 2020, ter consumido uma proporção maior de óleo diesel, seu combustível secundário e mais intensivo em carbono, do que de gás natural, seu combustível principal. Já as termelétricas Porto de Sergipe I, Cuiabá e Nova Piratininga são *outliers* e se loca-

lizam em um aglomerado com eficiência energética abaixo do intervalo esperado para o ciclo de potência que foram projetadas, o ciclo combinado. Isso provavelmente ocorreu por tais plantas terem operado a maior parte do tempo somente em ciclo Brayton.

Também se afastam do esperado as usinas Prosperidade I e Arembepe. Enquanto a Prosperidade I é uma *outlier* entre as unidades a gás natural que utilizam motores de combustão interna para geração de eletricidade, apresentando uma eficiência acima das representantes de seu grupo, a Arembepe é uma *outlier* dentro do *cluster* de empreendimentos movidos a óleo combustível por ter eficiência bastante abaixo de seus pares. É possível que os dados de consumo de combustível e/ou de geração de eletricidade dessas usinas estejam inconsistentes ou tenham escopos diferentes. No entanto, como são informações consolidadas e de fontes oficiais, optou-se por manter os números conforme as referências originais.

**FIGURA 18 Relação entre eficiência energética e taxa de emissão específica de cada usina, com destaque para os ciclos de potência e combustíveis principais**





# 3. EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA POR EMPRESAS GERADORAS

Neste capítulo, são apresentados os resultados da alocação de geração termelétrica fóssil e de emissões de CO<sub>2</sub> e aos proprietários das usinas térmicas, referidos neste inventário como empresas geradoras. O critério adotado para a alocação foi a participação acionária de cada empresa nas termelétricas inventariadas.

Para identificar as empresas geradoras e respectivas participações acionárias nas usinas, foram consultadas três plataformas da Aneel: o sistema Polímero, o Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico (Sigel) e o Sistema de Informações de Geração da Aneel (Siga). Além disso, com o intuito de preencher algumas lacunas encontradas nas bases de dados, foram realizadas buscas nos sites institucionais de empresas e/ou de usinas<sup>10</sup>. Os resultados são mostrados na tabela a seguir.

**TABELA 3 Empresas geradoras e suas respectivas participações de controle em termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público do SIN**

EMPRESA GERADORA	USINA (POTÊNCIA INSTALADA)	PARTICIPAÇÃO
Alcântara, Mendes e Cia. Ltda.	Jaraqui (75 MW)	1%
	Tambaqui (93 MW)	1%
Ambar Energia Ltda.	Uruguaiana (640 MW)	100%
Arcadis Logos S/A	Jaraqui (75 MW)	1%
	Tambaqui (93 MW)	1%
Aruana Energia S/A	Termonordeste (171 MW)	2%
	Termoparaíba (171 MW)	2%
Bolognesi Energia S/A	Campina Grande (169 MW)	100%
	Maracanaú I (168 MW)	100%
	Palmeiras de Goiás (176 MW)	78%
	Pernambuco III (183 MW)	78%
	Cristiano Rocha (85 MW)	23%
Brasympe Energia S/A	Termocabo (50 MW)	60%
Bretech Energia S/A	Goiânia II (140 MW)	100%
Cavallieri Participações e Empreendimentos S/A	Prosperidade I (28 MW)	96%
Centrais Elétricas de Pernambuco S/A	Pau Ferro I (94 MW)	5%
	Termomanau (143 MW)	5%
Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A - Eletronorte	Aparecida Parte I (166 MW)	100%
	Mauá 3 (591 MW)	100%
	Santa Rita (24 MW)	100%
	Santana (36 MW)	100%
Cia. de Geração e Transmissão de Energia Elétrica do Sul do Brasil - Eletrobras Cgt Eletrosul	Candiota III (350 MW)	100%

10 No tópico 6.1.2 do capítulo 6 (Metodologia Detalhada) deste documento, encontram-se os procedimentos adotados e as referências utilizadas para identificação das empresas geradoras e suas respectivas participações acionárias nas usinas.



EMPRESA GERADORA	USINA (POTÊNCIA INSTALADA)	PARTICIPAÇÃO
Companhia Energética de Petrolina	Petrolina (136 MW)	100%
Copel	Araucária (484 MW)	81%
CPFL Geração de Energia S/A	Termonordeste (171 MW)	53%
	Termoparaíba (171 MW)	53%
EBrasil S/A	Pau Ferro I (94 MW)	95%
	Termomanaus (143 MW)	95%
	Porto de Sergipe I (1516 MW)	50%
	Termonordeste (171 MW)	42%
	Termoparaíba (171 MW)	42%
	Termocabo (50 MW)	24%
EDP Energias do Brasil S/A	Porto do Pecém I (720 MW)	100%
Électricité de France S/A - EDF	Norte Fluminense (869 MW)	100%
	Ibirité (226 MW)	50%
Enel Brasil S/A	Fortaleza (327 MW)	100%
Eneva S/A	Maranhão III (519 MW)	100%
	Maranhão IV (338 MW)	100%
	Maranhão V (338 MW)	100%
	MC2 Nova Venécia 2 (178 MW)	100%
	Parnaíba IV (56 MW)	100%
	Porto do Itaquí (360 MW)	100%
	Porto do Pecém II (365 MW)	100%
Engie Brasil Energia S/A	Jorge Lacerda I e II (232 MW)	100%
	Jorge Lacerda III (262 MW)	100%
	Jorge Lacerda IV (363 MW)	100%
	Pampa Sul (345 MW)	100%
Equatorial Energia S/A	Geramar I (166 MW)	25%
	Geramar II (166 MW)	25%
Fundo de Investimentos em Participações Brasil Energia	Geramar I (166 MW)	25%
	Geramar II (166 MW)	25%
Furnas - Centrais Elétricas S/A	Santa Cruz (350 MW)	100%
Gaele Participações e Empreendimentos Ltda.	Prosperidade I (28 MW)	4%
GGR Participações S/A	Jaraquí (75 MW)	3%
	Tambaquí (93 MW)	3%
Global Participações em Energia S/A	Arembepe (150 MW)	100%
	Bahia I - Camaçari (32 MW)	100%
	Muricy (152 MW)	100%
	Global I (149 MW)	89%
	Global II (149 MW)	89%
	Potiguar (53 MW)	89%
	Potiguar III (66 MW)	89%
	Manauara (68 MW)	48%
GNP S/A	Geramar I (166 MW)	50%
	Geramar II (166 MW)	50%
Golar Power Brasil Participações S/A	Porto de Sergipe I (1516 MW)	50%
Hidrotérmica S/A	Palmeiras de Goiás (176 MW)	22%
	Pernambuco III (183 MW)	22%
	Cristiano Rocha (85 MW)	3%
J&F Investimentos S/A	Cuiabá (529 MW)	100%
Multiner Fundo de Investimento em Participações	Cristiano Rocha (85 MW)	69%
Neoenergia S/A	Termopernambuco (533 MW)	100%
Orteng SPE Projetos e Montagens Ltda.	Jaraquí (75 MW)	1%
	Tambaquí (93 MW)	1%
OZ&M Incorporação, Participação Ltda.	Termonordeste (171 MW)	3%
	Termoparaíba (171 MW)	3%
	Termocabo (50 MW)	2%



EMPRESA GERADORA	USINA (POTÊNCIA INSTALADA)	PARTICIPAÇÃO
<b>Petróleo Brasileiro S/A - Petrobras</b>	Baixada Fluminense (530 MW)	100%
	Canoas (249 MW)	100%
	Cubatão (250 MW)	100%
	Juiz de Fora (87 MW)	100%
	Nova Piratininga (386 MW)	100%
	Seropédica (386 MW)	100%
	Termobahia (186 MW)	100%
	Termocamaçari (120 MW)	100%
	Termoceará (220 MW)	100%
	Termomacaé (923 MW)	100%
	Termorio (1058 MW)	100%
	Três Lagoas (386 MW)	100%
	U-50 (100 MW)	100%
	Vale do Açú (323 MW)	100%
	Jaraqui (75 MW)	94%
	Tambaqui (93 MW)	94%
	Manauara (68 MW)	52%
	Ibirité (226 MW)	50%
	Suape II (381 MW)	20%
	Araucária (484 MW)	19%
<b>Radesca Participações Empresariais</b>	Cristiano Rocha (85 MW)	3%
<b>Rio Doce Energia S/A</b>	Luiz Oscar Rodrigues de Melo (204 MW)	100%
<b>Savana Spe Incorporação Ltda.</b>	Suape II (381 MW)	80%
<b>SZF Participações Ltda.</b>	Termocabo (50 MW)	14%
<b>Usina Xavantes S/A</b>	Xavantes Aruanã (54 MW)	100%
<b>Vulcan Fundo de Investimento em Participações Multiestratégia</b>	Ponta Negra (85 MW)	100%
	Viana (175 MW)	100%
<b>Não identificadas</b>	PCT CEMAT	100%
	PCT ENERSUL	100%
	Global I (149 MW)	11%
	Global II (149 MW)	11%
	Potiguar (53 MW)	11%
	Potiguar III (66 MW)	11%
	Cristiano Rocha (85 MW)	1%

Apesar de haver uma quantidade relativamente grande de empresas geradoras (41 diferentes), a eletricidade fóssil gerada em 2020 se revelou bastante concentrada. A partir da figura 19, observa-se que 72,3% de toda geração fóssil inventariada foi de responsabilidade de apenas cinco empresas geradoras: Petrobras (28,7%), Eneva (14,7%), Engie Brasil Energia (10,5%), Électricité de France - EDF (9,4%) e Eletronorte (9,0%).

A exemplo da geração de eletricidade, as emissões de CO<sub>2</sub> e em 2020 também estiveram concentradas em poucas grandes empresas, como mostram a figura 20 e a tabela 4. Apenas três empresas responderam por 59,1% das emissões: Petrobras (24,9%), Engie (19,0%) e Eneva (15,2%). Na sequência, para completar a lista das dez maiores emissoras, aparecem Eletronorte (6,7%), Électricité de France - EDF (6,1%), Eletrosul (5,0%), EDP (4,6%), Neoenergia (2,9%), Rio Doce Energia (2,5%) e J&F Investimentos (1,8%). Somente essas dez empresas são responsáveis por 88,8% das emissões, o que equivale a mais de 29 milhões de toneladas de gases de efeito estufa emitidas no ano de 2020.

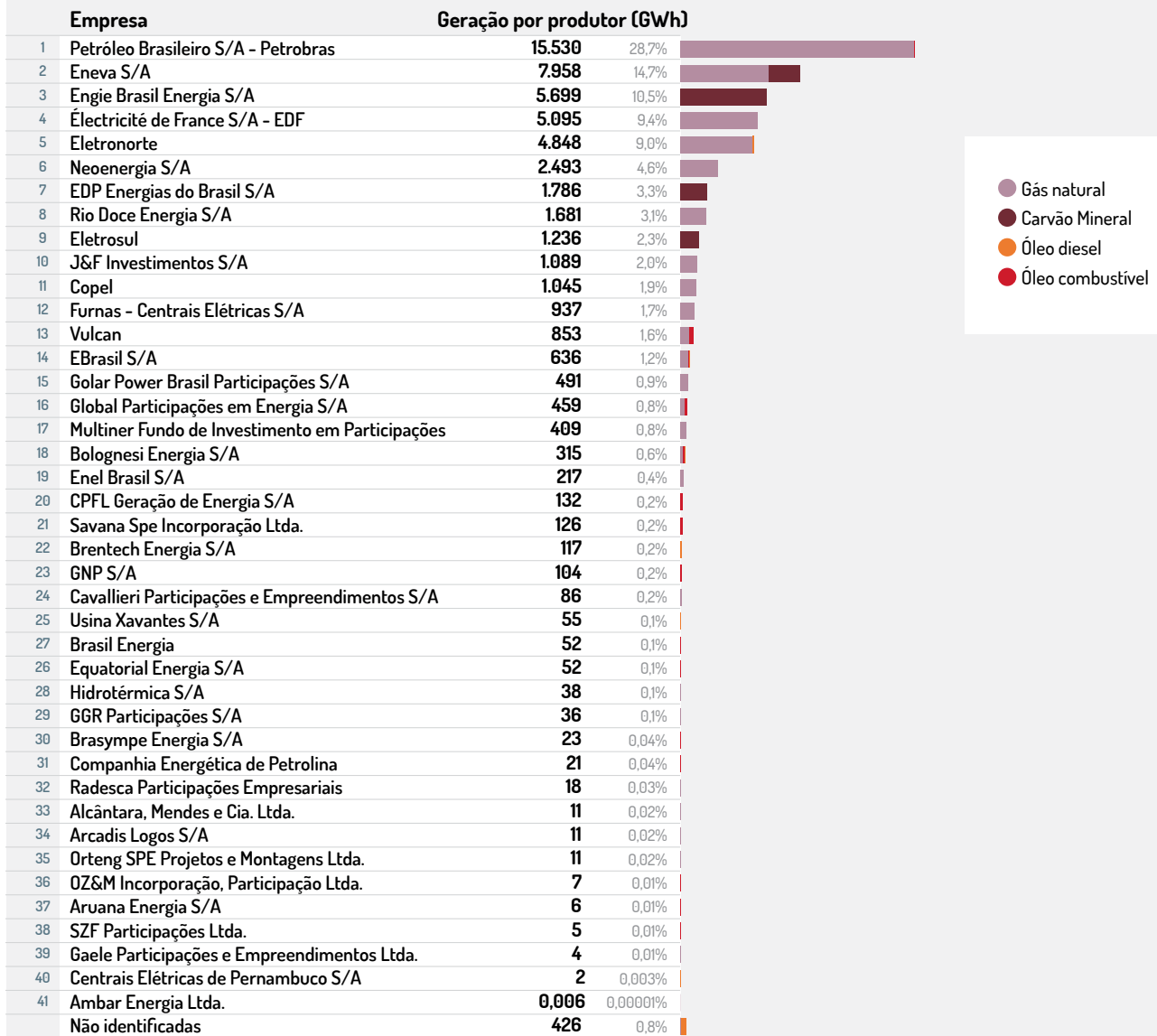
**TABELA 4 Número de empresas geradoras e participação no total de emissões de gases de efeito estufa**

Número de empresas geradoras (em ordem decrescente de emissões)	Emissões do grupo de empresas geradoras (toneladas de CO <sub>2</sub> e)	Participação no total de emissões
41 empresas geradoras + parcela de emissões de proprietários não identificados	32,7 milhões	100%
10 mais emissoras	29,0 milhões	89%
5 mais emissoras	23,5 milhões	72%
3 mais emissoras	19,3 milhões	59%
1 (maior emissora)	8,2 milhões	25%



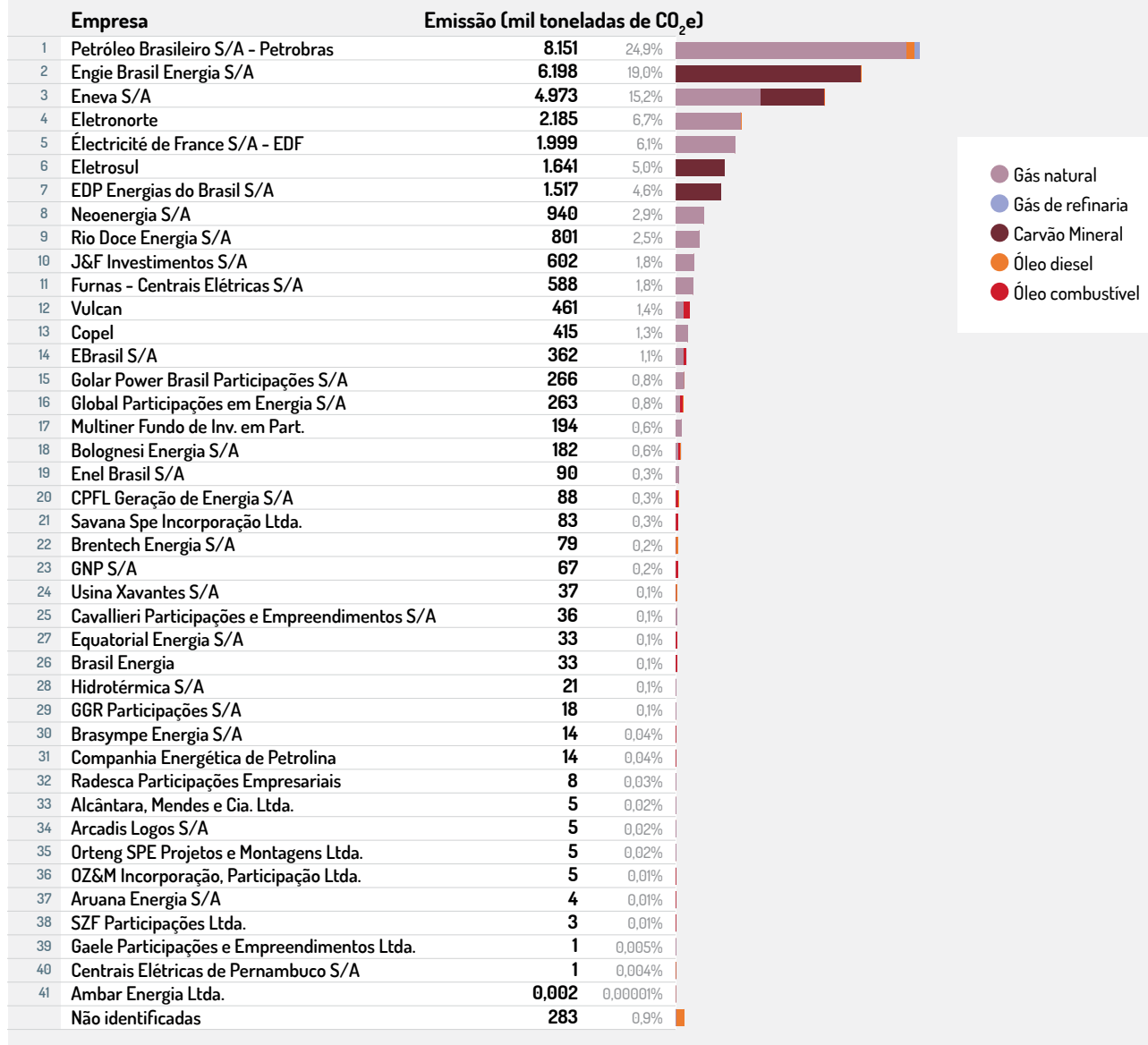


**FIGURA 19 Produção de termelétricidade fóssil por empresa geradora e combustível principal das usinas controladas**





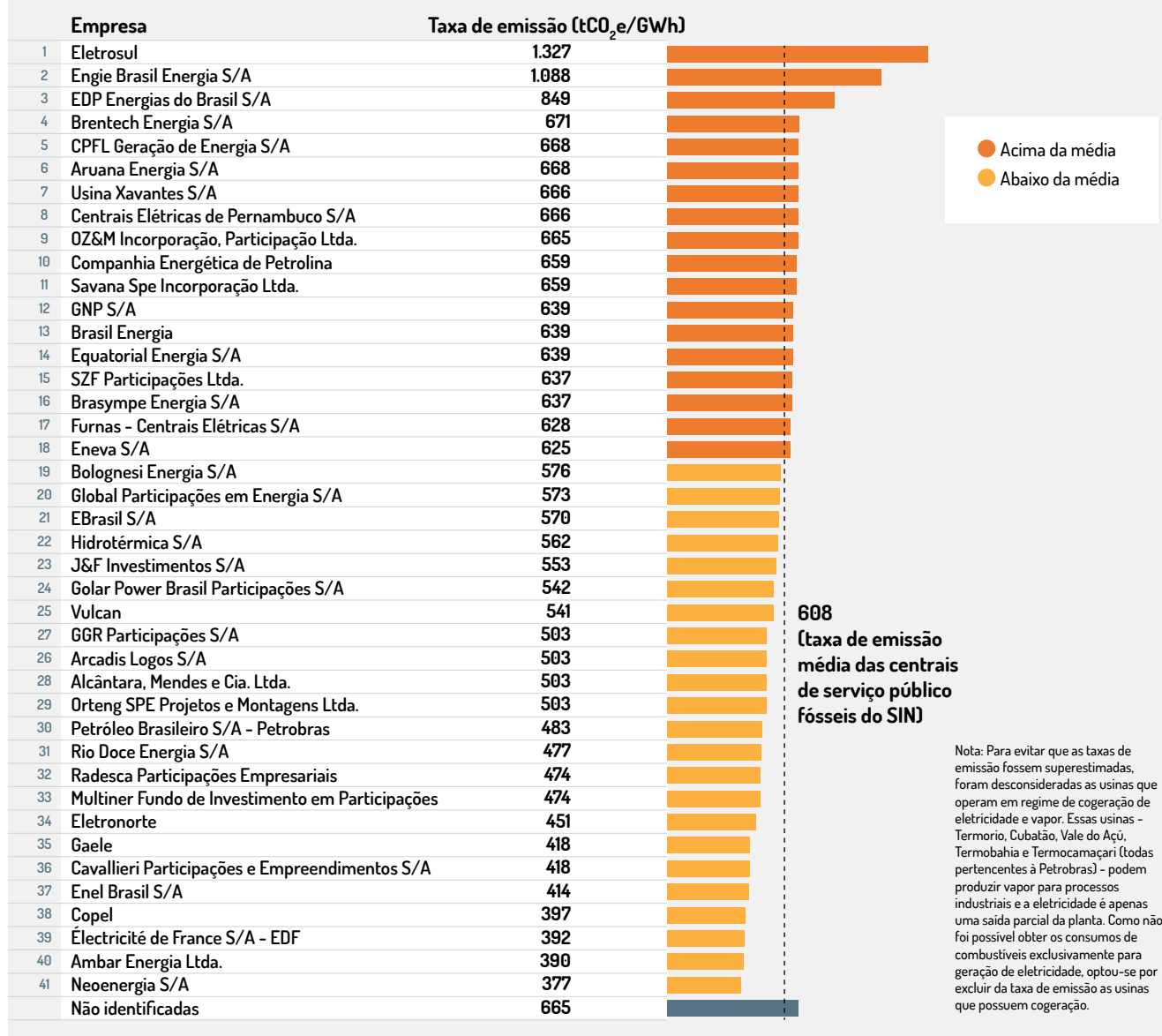
**FIGURA 20 Emissões de gases de efeito estufa por empresa geradora e combustível queimado nas usinas controladas**



### 3.1 Taxas de emissão de CO<sub>2</sub> e das empresas geradoras

A taxa de emissão, determinada pela razão entre emissões e eletricidade gerada, é um indicador adequado para comparação relativa do desempenho de empresas. Via de regra, a taxa de emissão de uma empresa considera tudo o que foi emitido e gerado em todo o seu portfólio de usinas, incluindo diferentes fontes energéticas (hidráulica, eólica, biomassa, fósseis etc.). Entretanto, como o escopo deste inventário são termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público operando no SIN, as taxas de emissão aqui calculadas levam em conta apenas esse universo. Nesse sentido, dentro desse trabalho, esse indicador é influenciado somente pelo combustível utilizado e pela eficiência energética das usinas nas quais as empresas são acionárias. As taxas de emissão das empresas geradoras para o ano de 2020 são apresentadas na figura abaixo.

**FIGURA 21 Taxa de emissão por empresa geradora, considerando os portfólios de termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público do SIN**



A empresa que mais emitiu gases de efeito estufa por eletricidade gerada em 2020, segundo o recorte deste inventário, foi a Eletrosul, com emissão específica de 1.327 tCO<sub>2</sub>e/GWh - mais que o dobro da média observada no SIN, que foi de 608 tCO<sub>2</sub>e/GWh. Essa empresa é detentora de 100% do controle acionário de Candiota III, usina a carvão mineral com a maior taxa de emissão entre as usinas que forneceram energia ao SIN em 2020 (vide figura 16).

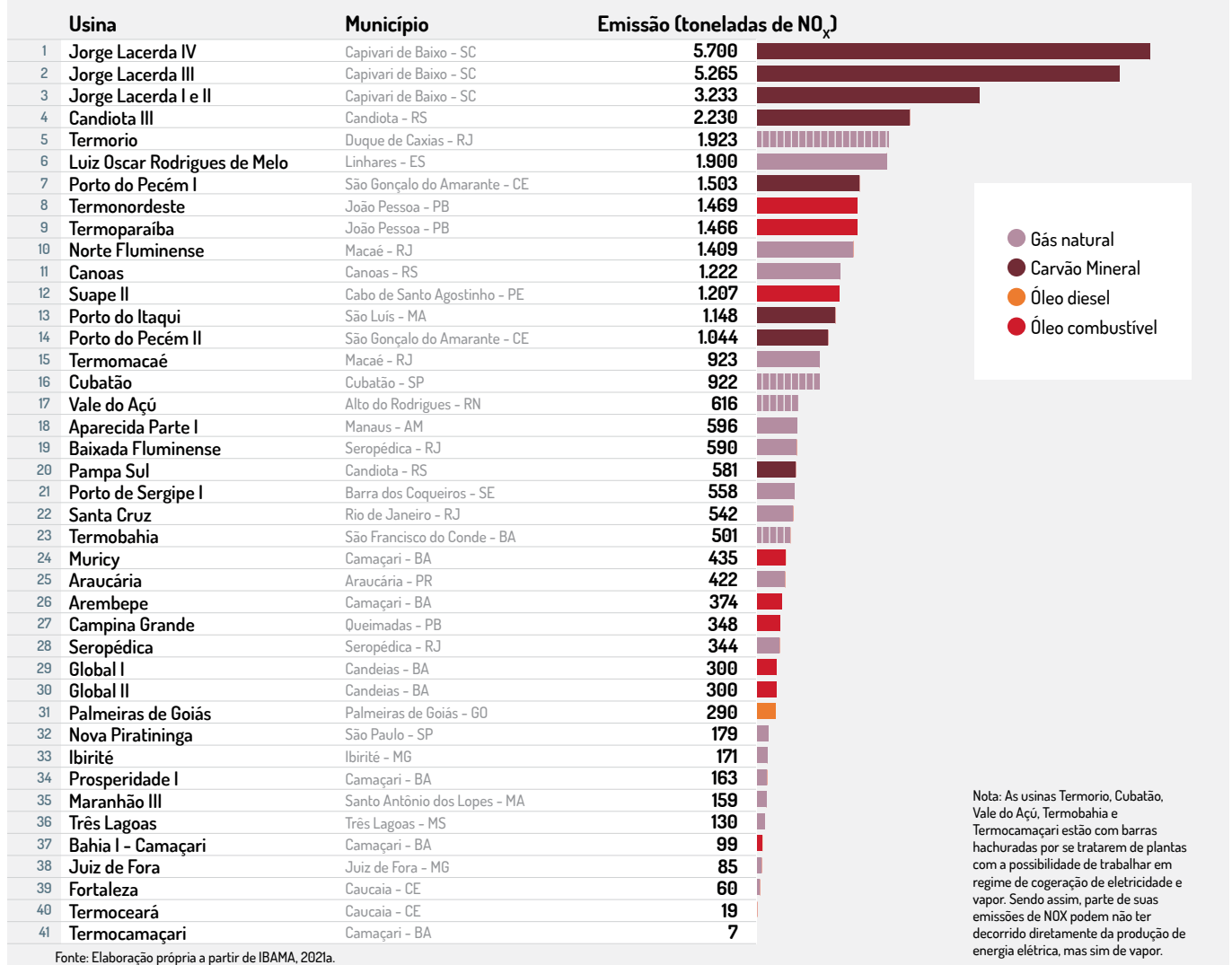
Por outro lado, a Petrobras, apesar de ser a maior emissora em termos absolutos, apresentou uma taxa de emissão (483 tCO<sub>2</sub>e/GWh) bem inferior à média das termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público do SÍN. Isso ocorre por conta das características da maior parte das usinas por ela controladas, que utilizam como combustível o gás natural e o ciclo combinado como tecnologia de geração predominante.



# 4. EMISSÕES DE POLUENTES LOCAIS

Além de estimar emissões de gases de efeito estufa, entre os objetivos iniciais deste inventário, estava a apresentação das quantidades de poluentes atmosféricos - óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), material particulado (MP) e óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) - emitidas nas usinas listadas. Buscou-se levantar tais números por meio do portal de dados abertos do Ibama, que disponibiliza informações sobre emissões de poluentes atmosféricos por termelétricas de acordo com os Relatórios de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais (Rapp), enviados ao Ibama pelas empresas geradoras (Ibama, 2021a). No entanto, dada a existência de lacunas e inconsistências relevantes nos valores de MP e SO<sub>x</sub> emitidos em 2020, optou-se por restringir este inventário às emissões de NO<sub>x</sub><sup>11</sup>.

**FIGURA 22 Emissões de NO<sub>x</sub> de termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público do SIN em 2020, com destaque para o combustível principal de cada planta**



11 Considerações a respeito desses problemas são apresentadas no tópico 6.1.4 do capítulo 6 (Metodologia Detalhada) deste relatório.

Quanto ao NO<sub>x</sub>, além de se obter mais informações nos documentos disponíveis para acesso público, esse poluente é emitido em grandes quantidades em termelétricas que utilizam combustíveis fósseis<sup>12</sup>. Além disso, sua presença no ar em concentrações elevadas está associada a uma variedade de preocupações ambientais e de saúde pública, incluindo a formação de ozônio (que se trata de um gás tóxico quando presente na troposfera), ocorrência de chuva ácida, acidificação de sistemas aquáticos, danos florestais, degradação da visibilidade e formação de partículas finas.

Vale frisar que, mesmo para as emissões de NO<sub>x</sub>, não foi possível cobrir todo o parque que forma o escopo deste inventário: das 72 termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público do SIN, foram listadas as emissões em 2020 de 41 delas (figura 22). Para as demais usinas, as informações sobre o NO<sub>x</sub> não estavam presentes na plataforma de dados abertos do Ibama - indicando que, possivelmente, as empresas geradoras não enviaram seus Rapp de forma completa ao Ibama - ou se mostraram inconsistentes - o que condiz com o fato do Ibama não realizar auditorias sobre os dados enviados pelas empresas via Rapp antes de publicá-los<sup>13</sup>.

A figura anterior evidencia as usinas à carvão mineral como grandes emissoras de NO<sub>x</sub>. Apesar dessas usinas terem operado em 2020 com fatores de capacidade relativamente elevados, o principal motivo que explica as altas posições no *ranking* é o fato do carvão mineral apresentar maior conteúdo de nitrogênio quando comparado aos demais combustíveis, resultando em taxas de emissão mais elevadas (tNO<sub>x</sub>/GWh).

Já a Figura 23 aloca o NO<sub>x</sub> emitido nos municípios onde estão localizadas as 41 usinas com dados consistentes disponíveis. Em se tratando de um poluente atmosférico, com impactos locais, é fundamental localizar emissões de NO<sub>x</sub> no território, especialmente pelo fato de alguns municípios possuírem mais de uma usina termelétrica em operação.

Um ponto de atenção emerge para vários municípios quando consideramos as emissões conjuntas de NO<sub>x</sub> das usinas termelétricas neles localizadas. Grandes volumes desse poluente emitidos em um só local deve sempre ser motivo de cuidado. A emissão contabilizada em 2020 nas duas usinas instaladas na capital paraibana João Pessoa, por exemplo, equivale a tudo que foi emitido pelos cerca de 14 mil ônibus que compuseram a frota de transporte coletivo do município de São Paulo nesse mesmo ano, sendo esse um dos maiores sistemas de ônibus do mundo, beneficiando nove milhões de passageiros diários<sup>14</sup> (SPTrans, 2021).

Comparando os números da frota de ônibus paulistana com o montante emitido devido à geração termelétrica em Capivari de Baixo, município de Santa Catarina, a proporção é ainda maior. As três usinas a carvão mineral instaladas na cidade catarinense de cerca de 25 mil habitantes - que operam também próximas de áreas urbanizadas de Tubarão, município onde vivem outras 107 mil pessoas - produzem anualmente o equivalente à cinco

**FIGURA 23 Emissões de NO<sub>x</sub> em termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público do SIN no ano de 2020, segundo combustível principal e município**

● Gás natural      ● Óleo diesel  
● Carvão mineral      ● Óleo combustível

	Município	Emissão (toneladas de NO <sub>x</sub> )
1	Capivari de Baixo (SC)	14.198
2	João Pessoa (PB)	2.935
3	Candiota (RS)	2.811
4	São Gonçalo do Amarante (CE)	2.547
5	Macaé (RJ)	2.331
6	Duque de Caxias (RJ)	1.923
7	Linhares (ES)	1.900
8	Canoas (RS)	1.222
9	Cabo de Santo Agostinho (PE)	1.207
10	São Luís (MA)	1.148
11	Camaçari (BA)	1.078
12	Seropédica (RJ)	934
13	Cubatão (SP)	922
14	Alto do Rodrigues (RN)	616
15	Candeias (BA)	600
16	Manaus (AM)	596
17	Barra dos Coqueiros (SE)	558
18	Rio de Janeiro (RJ)	542
19	São Francisco do Conde (BA)	501
20	Araucária (PR)	422
21	Queimadas (PB)	348
22	Palmeiras de Goiás (GO)	290
23	São Paulo (SP)	179
24	Ibirité (MG)	171
25	Santo Antônio dos Lopes (MA)	159
26	Três Lagoas (MS)	130
27	Juiz de Fora (MG)	85
28	Caucaia (CE)	79

Fonte: Elaboração própria a partir de IBAMA, 2021a.

12 Enquanto os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) são motivo de preocupação em termelétricas movidas a qualquer combustível, o material particulado (MP) e os óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) são poluentes mais relacionados a usinas que utilizam carvão mineral como fonte energética.

13 As usinas sem emissões de NO<sub>x</sub> em 2020 disponíveis na plataforma de dados abertos do Ibama quando da elaboração deste inventário estão listadas no tópico 6.1.4 do capítulo 6 (Metodologia Detalhada). Nessa mesma seção, também estão elencadas as termelétricas que não têm suas emissões aqui reportadas devido a aparentes inconsistências nos valores divulgados.

14 Demanda de passageiros do sistema de ônibus municipais de São Paulo estimada para um dia útil antes do início da pandemia de Covid-19 nos primeiros meses de 2020.

vezes o que emite a frota de ônibus de São Paulo (mais populosa cidade brasileiro, com mais de 12 milhões de moradores)<sup>15</sup>.

Outro ponto preocupante é o fato de muitos dos municípios elencados na figura 23 não possuírem estações de monitoramento da qualidade do ar e, mesmo assim, serem considerados para a instalação de uma série de novos projetos termelétricos, muitos já licenciados pelos devidos órgãos ambientais.

O agravante de tudo isso é que, a julgar pelos projetos de termelétricas cadastrados nos recentes leilões de energia elétrica, o adensamento de usinas em um mesmo território parece ser uma tendência para o futuro próximo. Tal situação tem se verificado nas proximidades de complexos industriais e portuários integrados a terminais de gás natural liquefeito (GNL) ou próximos a gasodutos de escoamento de gás ou a minas de carvão (IEMA, 2021).

### **BOX 5 - MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR E USINAS TERMELÉTRICAS**

Além da aparente fragilidade nos dados oficiais de emissões de poluentes, o Brasil não possui uma rede suficiente e transparente de monitoramento da qualidade do ar. Apenas 11 unidades da federação, menos da metade das 27 existentes, possuem estações de monitoramento que disponibilizem de forma pública e organizada as medições de concentrações de poluentes nas áreas em que se localizam<sup>16</sup> (IEMA, 2022).

Importantes regiões do território nacional ainda não estão cobertas por monitores da qualidade do ar, o que impede que os impactos de fontes poluidoras como as termelétricas sejam quantificados, avaliados e bem endereçados ou evitados. Além disso, existem assimetrias estruturais entre as redes instaladas e um quadro de poluição atmosférica cujo histórico de medições preocupa, sobretudo quando comparado aos padrões de qualidade do ar vigentes no Brasil ou às recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS).

Mesmo em estados onde há algum monitoramento, existem municípios que permanecem descobertos. A figura 22 mostra que as dez termelétricas que reportaram as maiores emissões de  $\text{NO}_x$  estão localizadas, em ordem, nas seguintes cidades: Capivari de Baixo (SC), Candiota (RS), Duque de Caxias (RJ), Linhares (ES), São Gonçalo do Amarante (CE), João Pessoa (PB) e Macaé (RJ).

Considerando esse grupo de cidades, só foi possível encontrar informações sobre poluição do ar referente ao ano de 2020 em Duque de Caxias e em Macaé, ambas no Rio de Janeiro. Nesses municípios fluminenses, observou-se que as concentrações de ozônio ( $\text{O}_3$ ), poluente que pode se formar a partir do  $\text{NO}_x$  emitido em chaminés de termelétricas, ultrapassam as recomendações da OMS de forma recorrente. A estação de monitoramento Campos Elíseos, a mais próxima da usina Termorio em Duque de Caxias, mediu 41 dias de 2020 com concentrações de  $\text{O}_3$  maiores do que a OMS julga como minimamente seguro à saúde humana. Já o monitoramento feito na estação Fazenda Severina, próxima à usina Norte Fluminense em Macaé (cidade onde também se encontra a Termomacaé), indica números ainda piores: 88 dias do ano de 2020 com ultrapassagens da recomendação da OMS para concentração de  $\text{O}_3$  (Inea, 2021).

Macaé é um exemplo emblemático por ser uma área que está se configurando como um complexo termelétrico, já tendo uma nova usina em construção, além de outros projetos ambientalmente licenciados ou em licenciamento que poderão operar na região caso vençam futuros leilões de contratação de energia. Isso tudo à revelia do fato de Macaé, como citado no parágrafo anterior, já apresentar consistentemente problemas de qualidade do ar, situação que o próprio órgão ambiental do estado do Rio de Janeiro reconhece (Inea, 2020).

15 Estatísticas demográficas retiradas do sistema “Cidades@” (IBGE, 2022).

16 As unidades da federação que disponibilizam publicamente alguma informação sobre monitoramento da qualidade do ar são: Bahia, Ceará, Distrito Federal, Espírito Santo, Goiás, Minas Gerais, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e São Paulo (IEMA, 2022).

# 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

**E**m função dos níveis alarmantes dos reservatórios hidrelétricos e do risco de racionamento, o debate sobre o aumento da diversificação e da segurança da matriz elétrica brasileira se reaqueceu novamente em 2021. A diminuição gradual da participação da hidreletricidade na matriz, tanto em geração quanto em termos de novos projetos, abriu espaço para o crescimento das fontes eólica e solar, mas, sobretudo, deu vantagens argumentativas para o incremento da utilização de termelétricas fósseis. A contratação e a operação dessa categoria de usinas foram privilegiadas sob o argumento de segurança ao sistema no suprimento de potência, além de outros fatores, como a viabilização econômica do gás natural nacional advindo do pré-sal. Como resultado, a geração termelétrica aumentou de 30,6 TWh em 2000 para 84,8 TWh em 2020 (crescimento de 177%), representando, atualmente, 14% de toda eletricidade produzida no Brasil.

As 72 termelétricas fósseis de serviço público conectadas ao SIN produziram 54,1 TWh de eletricidade em 2020. Desse montante, 76% foi gerado a partir de usinas operando com gás natural como combustível principal. Ao todo, esse conjunto de 72 usinas emitiu 32,7 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e em 2020, sendo que 94% desse valor foi proveniente de apenas 36 usinas.

Quanto à atribuição de emissões às proprietárias das usinas inventariadas, nota-se que apenas três empresas foram responsáveis por quase 60% de tudo o que foi emitido, sendo elas: Petrobras (25%), Engie (19%) e Eneva (15%). Em termos de taxas de emissões, destacaram-se negativamente as empresas Eletrosul, Engie e EDP - todas com taxas elevadas em comparação com a média nacional. A Petrobras, apesar de ser a maior emissora em termos absolutos, é apenas a trigésima empresa geradora no *ranking* de emissões por eletricidade gerada (tCO<sub>2</sub>e/GWh).

Em 2021, foi confirmada a tendência crescente de utilização de termelétricas fósseis para minimizar o risco de atendimento à demanda. Estimativas preliminares do IEMA indicam que a geração em termelétricas fósseis de serviço público do SIN cresceu 77% em relação a 2020, alcançando cerca de 96 TWh. Essa geração foi responsável pela emissão de 58 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e, 78% a mais que em 2020.

Além das emissões de gases de efeito estufa, essa categoria de geração resulta em uma série de outros problemas ambientais, como estresse hídrico por conta da utilização de água para resfriamento de sistemas, poluição atmosférica local ou competição no despacho de energia com fontes renováveis. Ademais, as termelétricas fósseis contribuem significativamente para o encarecimento das contas de eletricidade.

Por isso, o IEMA continuará lançando uma sequência de documentos acerca dos riscos da expansão termelétrica em território nacional, como os boletins de análise pré e pós-leilões, notas técnicas a respeito das mudanças no setor elétrico brasileiro e inventários anuais de emissões atmosféricas.

Um desafio importante para a continuidade deste trabalho é o acesso público a informações confiáveis, especialmente no que se refere a indicadores ambientais. A fonte selecionada, Rapp/Ibama, ainda que a mais completa em termos de disponibilidade de informações de consumo de combustíveis, apresentou dados incongruentes ou ausentes para mais de 20 usinas. O quadro é ainda mais problemático para as emissões de poluentes locais: das 72 usinas, apenas 41 publicaram números coerentes para NO<sub>x</sub>; 35 usinas não informaram suas emissões de SO<sub>x</sub>; enquanto 32 deixaram de fornecer suas emissões de MP<sup>17</sup>.

Aponta-se a necessidade de aprimorar o processo de coleta e validação das informações das

17 Estatísticas referentes a consultas realizadas no portal de dados abertos do Ibama entre novembro e dezembro de 2021.





usinas. Atualmente, são os empreendedores os responsáveis pelo preenchimento das informações coletadas e só há auditoria em caso de denúncias ou ações fiscalizatórias específicas. É necessário aumentar o rigor e a análise das informações disponibilizadas pelas empresas geradoras em seus Rapp/Ibama. A fragilidade das bases de dados oficiais de poluição atmosférica no país mostra uma longa distância a percorrer, tanto para uma efetiva gestão ambiental por parte do poder público quanto para a implementação de práticas transparentes e consistentes de Governança Ambiental, Social e Corporativa (*ESG - Environmental, Social and Corporate Governance*) por parte das empresas do setor elétrico.

Nesse sentido, espera-se que este documento influencie de forma positiva a divulgação correta de dados pelas empresas geradoras, pelo Ibama e por outros órgãos competentes, contribuindo para a consolidação de um planejamento energético que leve em conta as emissões atmosféricas do sistema e trabalhe para diminuí-las.

A ausência de dados era prevista e é importante de ser pontuada para que se possa aprimorar as análises sobre a realidade do parque termelétrico brasileiro. Além de continuar documentando a geração de eletricidade e as emissões atmosféricas de termelétricas, espera-se que, em próximas edições deste inventário, seja possível ampliar o recorte amostral das usinas analisadas, incluindo, por exemplo, plantas dos sistemas isolados e/ou informações referentes a anos anteriores a 2020.

# 6. METODOLOGIA DETALHADA

## 6.1 Fontes de informação

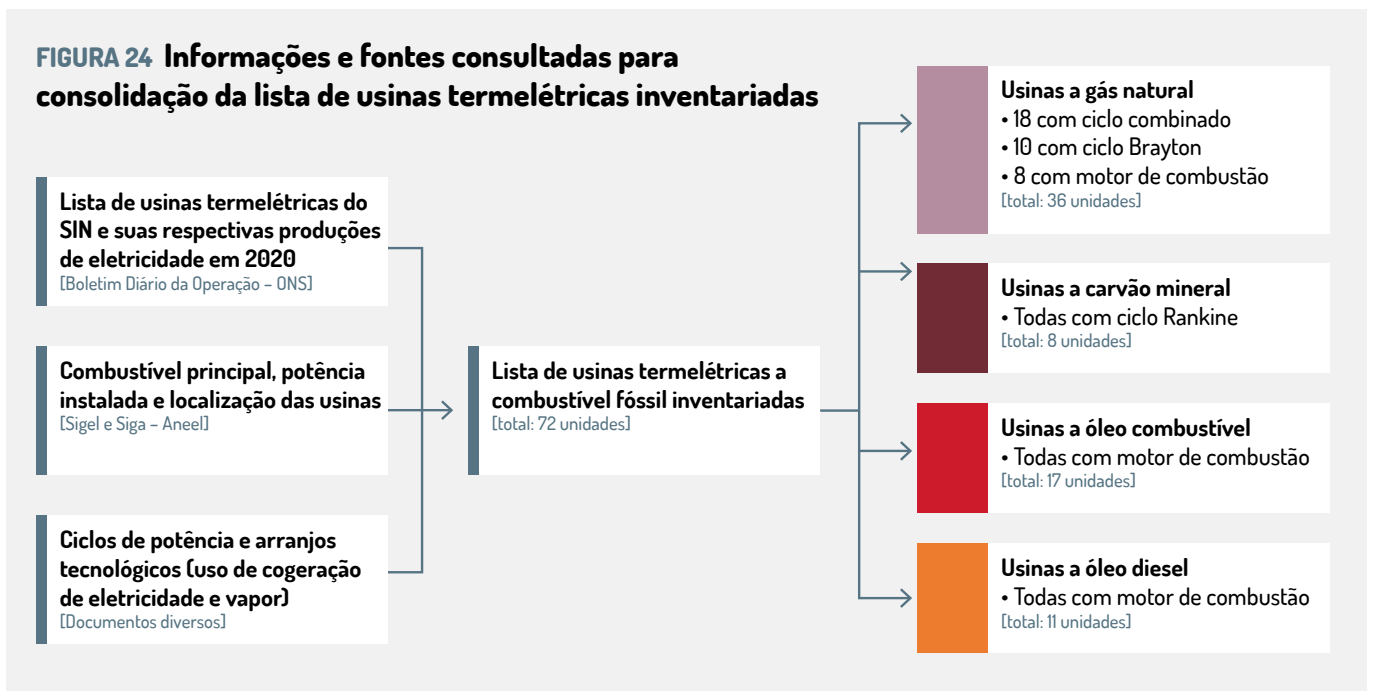
### 6.1.1 Lista de termelétricas inventariadas e respectivas gerações de eletricidade

Para a elaboração deste inventário, as informações sobre as termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público do Sistema Interligado Nacional (SIN) que operaram em 2020, bem como suas respectivas gerações de eletricidade, foram obtidas junto ao Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) em seu Boletim Diário da Operação<sup>18</sup> (ONS, 2021).

Detalhes sobre localização geográfica, potência instalada e combustível principal utilizado por cada usina listada foram acessados por meio do Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico (Sigel) (Aneel, 2021b) e do Sistema de Informações de Geração da Aneel (Siga) (Aneel, 2021e).

Já para a identificação do arranjo tecnológico e do ciclo de potência das plantas, foram consultadas documentações inerentes aos processos de licenciamento ambiental, em especial os Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e as licenças ambientais expedidas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) ou pelos Órgãos Estaduais de Meio Ambiente (Oema). Além disso, foram empreendidas buscas sistemáticas nos sites das empresas/usinas geradoras e em documentos oficiais, como o Boletim Mensal de Acompanhamento da Indústria de Gás Natural (MME, 2020).

A figura a seguir sintetiza as fontes de informação utilizadas para identificação e caracterização tecnológica das usinas termelétricas inventariadas.



18 As gerações de eletricidade de duas únicas termelétricas inventariadas foram corrigidas em relação ao reportado no Boletim Diário da Operação. Após contato direto, a Pernambuco III teve sua geração ajustada conforme sugestão da equipe técnica responsável pela planta. Já para a usina Santana, utilizou-se a geração disponibilizada no Histórico da Operação da ONS (ONS, 2022), uma vez que o valor divulgado no Boletim Diário da Operação se mostrou inconsistente com o consumo de combustível levantado a partir de contato direto com os responsáveis pela usina.

## 6.1.2 Identificação dos proprietários das usinas termelétricas inventariadas

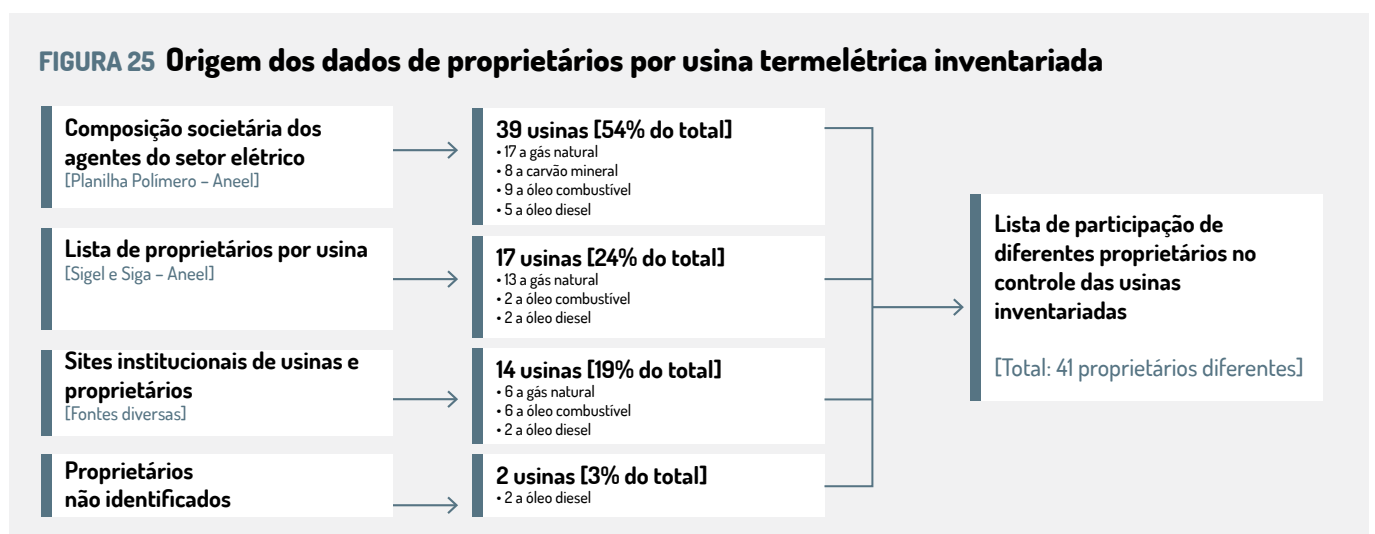
Os atores do setor elétrico têm como obrigação informar à Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) a composição societária de seus empreendimentos<sup>19</sup>. A agência reguladora, por sua vez, publica periodicamente tais composições em seu portal na internet, por meio do sistema Polímero (Aneel, 2021a).

Utilizando-se as informações referentes ao segundo trimestre de 2021, disponíveis na base de dados do sistema Polímero, foi possível, então, identificar os proprietários de 39 usinas térmicas aqui inventariadas, bem como as respectivas participações desses proprietários no capital social de cada uma dessas termelétricas.

Para complementar as informações disponibilizadas no sistema Polímero, foram consultadas outras duas plataformas da Aneel - o Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico (Sigel) (Aneel, 2021b) e o Sistema de Informações de Geração da Aneel (Siga) (Aneel, 2021e) - onde foram identificados os proprietários de mais 17 usinas.

Para as plantas restantes, sobre as quais ainda se tinham dúvidas em relação aos proprietários, realizaram-se buscas nos respectivos sites institucionais. Foram contempladas, nesta última etapa, mais 14 empreendimentos, restando apenas duas usinas a óleo diesel sem informações (PCT CEMAT e PCT ENERSUL).

Identificar “quem possui o quê” - ou seja, quais são os proprietários das termelétricas inventariadas e quais suas respectivas participações no capital social desses ativos - foi um trabalho complexo. Os capitais sociais são regularmente negociados e seus controladores podem se fundir, reorganizar-se ou mesmo cessar as operações. Assim, embora considerável esforço tenha sido realizado para garantir a acurácia das informações societárias aqui presentes, podem existir desvios inadvertidos na atribuição de propriedade de usinas para as quais as informações públicas não estavam atualizadas ou não puderam ser encontradas. A próxima figura resume as referências utilizadas para determinar os proprietários de cada planta; lembrando que, em alguns casos, a atribuição final de propriedade utilizada neste inventário pode diferir daquela verificada atualmente, o que acontecerá principalmente quando o empreendimento sofreu negociações após o ano de 2020.



<sup>19</sup> Conforme art. 4º do Módulo II do Anexo da Resolução Normativa Aneel nº 948 de 16 de novembro de 2021, que aprovou a Regulação Econômico-Financeira (regulamentação de operações, aplicáveis às delegatárias de distribuição, transmissão e geração de energia elétrica), “o concessionário, permissionário ou autorizado de energia elétrica deverá enviar à Superintendência de Regulação Econômica e Estudos do Mercado (SRM), da Aneel, na concretização da operação de transferência acionária e periodicamente, no último dia de cada trimestre civil, informação atualizada relativa à respectiva composição societária; identificado o grupo de controle e explicitando todas as participações societárias diretas e indiretas dos respectivos controladores” (Aneel, 2021d). Essa obrigatoriedade também é mencionada no art. 2º (XX) da Resolução Normativa Aneel nº 921 de 23 de fevereiro de 2021: “manter atualizado em sistema disponibilizado no sítio eletrônico da Aneel o organograma do Grupo Econômico, informando quaisquer alterações na composição societária” (Aneel, 2021c).



## 6.1.3 Consumo de combustíveis fósseis por usina inventariada

Para a maioria das usinas, números oficiais e públicos sobre o consumo de combustíveis só puderam ser acessados nas informações referentes aos Relatórios Anuais de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais (Rapp)<sup>20</sup>, disponibilizadas no portal de dados abertos do Ibama (Ibama, 2021b). Tais relatórios são preenchidos pelos próprios empreendedores responsáveis, tratando-se de uma obrigação vinculada ao pagamento da Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental (TCFA)<sup>21</sup>. Os sujeitos ao pagamento da taxa e, conseqüentemente, obrigados à entrega do Rapp são identificados por meio do Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Naturais (CTF/APP)<sup>22</sup>.

Para validar os valores reportados nos Rapp/Ibama também foram examinadas outras fontes formais, que disponibilizavam pelo menos parte das informações buscadas. Levantaram-se consumos de gás natural a partir do Painel Dinâmico de Movimentação de Gás Natural em Gasodutos de Transporte (Saídas de Gás para Usinas Termelétricas) (ANP, 2021), de demonstrativos mensais de geração, consumo e eficiência relacionados à Conta de Consumo de Combustíveis (CCC) (CCEE, 2021), além do Boletim da Indústria de Gás Natural (MME, 2020). Foram encontrados os consumos de carvão mineral de quatro importantes termelétricas (Candiota III e Jorge Lacerda I e II<sup>23</sup>, III e IV) por meio da memória de cálculo de reembolso de carvão mineral relacionada à Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) (CCEE, 2021). Para aquelas usinas sem uma segunda referência de consumo de combustíveis (em sua maioria movidas a óleo combustível ou a diesel), estimou-se um valor assumindo fatores médios retirados do Balanço Energético Nacional (BEN) (EPE, 2021b).

Dessa maneira, estabeleceu-se uma base de comparação em que foi possível perceber que os números obtidos via Rapp/Ibama estavam bastante próximos daqueles divulgados por outras fontes - que foram preteridas por serem dispersas e por cobrirem um número menor de usinas. Tal comparação reforçou a escolha dos dados abertos do Ibama como referência dos consumos de combustíveis aqui utilizados. No entanto, ainda assim foram encontradas lacunas ou inconsistências para algumas usinas.

Um total de 41 termelétricas tiveram os dados de consumo diretamente retirados dos valores referentes a 2020 publicados em seus Rapp/Ibama - quatro delas têm o carvão mineral como combustível principal, 27 utilizam o gás natural, nove são movidas a óleo combustível e somente uma a diesel.

Para obter o consumo de outras nove plantas, foram distribuídos valores referentes a conjuntos de usinas - que era o que estava disponível nos Rapp/Ibama. Assim, por exemplo, o consumo total do complexo Geramar foi distribuído para as duas usinas que o compõem (Geramar I e II) de maneira proporcional à parcela de eletricidade gerada em cada uma delas. Já para distribuir o montante consumido no complexo Jorge Lacerda nas três usinas que o formam (Jorge Lacerda I e II, III e IV), aplicaram-se as proporções de combustíveis

20 “O Relatório Anual de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais (Rapp) é uma ferramenta instituída como obrigação acessória à TCFA pela Política Nacional de Meio Ambiente (Lei 6.938/81, art. 17-C, § 1º). O Rapp tem como função a obtenção de dados e informações para colaborar com procedimentos de fiscalização e controle ambiental. O modelo do relatório é definido pelo Ibama, que atualmente é regulamentado pela Instrução Normativa do Ibama nº 22/2021.” (Ibama, 2022b)

21 “A Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental (TCFA) é uma espécie de tributo para controle e fiscalização das atividades potencialmente poluidoras e utilizadoras de recursos naturais. A TCFA está prevista no art. 17-B da Lei Federal nº 6.938/1981 (Política Nacional de Meio Ambiente), que teve a redação dada pela Lei Federal nº 10.165/2000. Foi regulamentada pelo Ibama por meio da Instrução Normativa nº 17, de 2011, republicada no DOU de 20 de abril de 2012. É definida pelo cruzamento do grau de potencial poluidor com o porte econômico do empreendimento. Essas informações são fornecidas pelo próprio contribuinte, ao se inscrever no Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais (CTF/APP).” (Ibama, 2020)

22 O art. 17, II, da Lei 6.938/1981, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, instituiu, sob a administração do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (Ibama), o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais (CTF/APP). A obrigação de registro no Cadastro incide sobre a pessoa física ou jurídica que exercer atividade sob controle por meio de licenciamento ambiental realizado pelo órgão competente (federal, distrital, estadual ou municipal). (Ibama, 2022a)

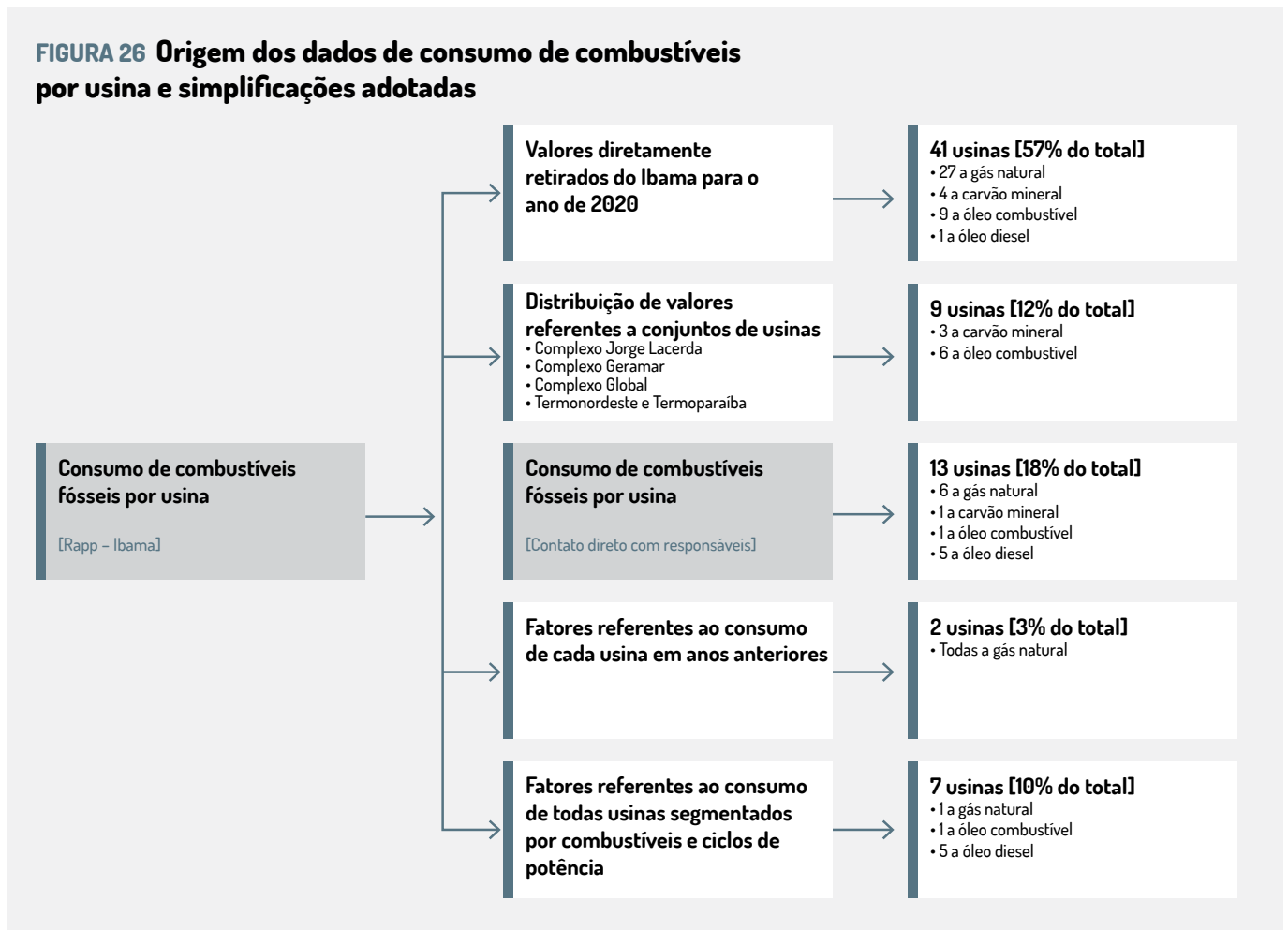
23 A denominação “Jorge Lacerda I e II” se refere a apenas uma usina, segundo informações da Aneel e da ONS.

consumidos segundo os dados reportados na memória de cálculo de reembolso de carvão mineral (CCEE, 2021).

Restaram 22 usinas com informações inconsistentes<sup>24</sup> ou ausentes em 2020. Com o intuito de levantar o consumo de combustíveis dessas centrais elétricas, procurou-se contato direto com as autoridades técnicas responsáveis por cada uma delas. Ao fim desta etapa, foram obtidos os consumos de mais 13 usinas - uma movida a carvão mineral, seis a gás natural, uma a óleo combustível e outras cinco a óleo diesel.

Para as nove térmicas cujos proprietários não responderam aos contatos realizados, foi necessário utilizar fatores de consumo de combustível por eletricidade gerada. Para duas usinas<sup>25</sup>, tais fatores foram calculados a partir dos consumos de cada uma delas referentes a um ano anterior disponível nos dados abertos do Ibama. Já para as últimas sete plantas que não possuíam dados de consumo referentes a anos anteriores<sup>26</sup>, foram aplicados fatores médios específicos para cada tecnologia (combinação de combustível principal e ciclo de potência). Esses fatores foram calculados a partir dos próprios dados de 2020 presentes nos Rapp/Ibama, dividindo o montante de combustível consumido por todas as usinas de uma determinada tecnologia pela eletricidade total gerada nessas mesmas usinas.

**FIGURA 26 Origem dos dados de consumo de combustíveis por usina e simplificações adotadas**



24 O principal exemplo de inconsistência encontrada foi o fato de uma usina possuir, segundo os dados originalmente disponíveis, uma eficiência de transformação de energia térmica - proveniente da queima de combustível - em energia elétrica muito distante da faixa média esperada para sua tecnologia (ciclo de potência e combustível).

25 Jaraqui e Seropédica.

26 Cristiano Rocha, Pau Ferro I, PCT CEMAT, PCT ENERSUL, Termomanaus, U-50 (Refinaria Abreu e Lima) e Xavantes Aruanã.

## 6.1.4 Emissões de óxidos de nitrogênio por usina inventariada

Em sua seção de emissões de poluentes atmosféricos, o portal de dados abertos do Ibama apresenta as quantidades de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), material particulado (MP) e monóxido de carbono (CO) emitidas por diferentes usinas termelétricas, segundo dados provenientes dos respectivos Relatórios Anuais de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais (Rapp) (Ibama, 2021a).

Neste inventário, optou-se, no entanto, por apresentar apenas as emissões de NO<sub>x</sub> relatadas nos Rapp/Ibama. Isso devido a três razões:

- Sabe-se que muitas cidades brasileiras não têm mais apresentado concentrações atmosféricas de CO acima dos padrões legais e das recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS) (IEMA, 2022).
- As taxas de emissão observadas para SO<sub>x</sub> e MP apresentaram diferenças significativas em relação ao indicado na literatura de referência<sup>27</sup>.
- Das 72 termelétricas que forneceram energia ao Sistema Interligado Nacional (SIN) em 2020, um total de 35 usinas não informaram as emissões de SO<sub>x</sub> em seus respectivos Rapp/Ibama e 32 deixaram de fornecer os dados sobre MP.

Foram daqui excluídos somente os valores de NO<sub>x</sub> muito acima ou muito abaixo do esperado para uma dada geração de eletricidade e um determinado arranjo tecnológico de combustível e ciclo de potência<sup>28</sup>.

Vale frisar que se optou por não utilizar fatores médios para estimar as emissões de NO<sub>x</sub> daquelas usinas cujas informações eram inconsistentes ou não estavam disponíveis no portal de dados abertos do Ibama porque as emissões desse poluente podem variar de forma relevante a depender das condições em que o combustível é queimado, tornando o uso de fatores médios mais suscetível a imprecisões. Por isso, este inventário apresenta as emissões de NO<sub>x</sub> de 41 das 72 usinas inventariadas, tratando-se apenas daquelas que divulgaram tais informações via Rapp/Ibama<sup>29</sup> e que tinham dados relativamente coerentes.

## 6.2 Procedimentos de cálculo

### 6.2.1 Emissões de gases de efeito estufa por usina

Uma vez que as emissões de CO<sub>2</sub> dependem sobretudo da quantidade de combustível queimado e pouco variam em relação à forma de queima, optou-se por utilizar, para todas as usinas, os já consolidados fatores de emissão para termelétricas reportados no Inventário Nacional (MCTI, 2020b), listados na tabela 5. Também foram empregados os fatores de metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), que são outros gases de efeito estufa (GEE) emitidos em usinas térmicas. Para se obter um valor único de GEE medido em dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e), os resultados de CH<sub>4</sub> e de N<sub>2</sub>O emitidos devem ser multiplicados, respectivamente, por 28 e 265, conforme métrica utilizada na Quarta Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC (MCTI, 2020a).

As emissões de CO<sub>2</sub>e são, então, calculadas por meio da seguinte equação:

$$\text{Emissão}_{\text{usina}}^{\text{CO}_2\text{e}} = \left( \text{Consumo}_{\text{combustível}} * \text{FE}_{\text{usina}}^{\text{CO}_2} \right) + \left[ 28 * \text{Consumo}_{\text{combustível}} * \text{FE}_{\text{combustível}}^{\text{CH}_4} \right] + \left[ 265 * \text{Consumo}_{\text{combustível}} * \text{FE}_{\text{combustível}}^{\text{N}_2\text{O}} \right]$$

Sendo: FE<sub>combustível</sub><sup>CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ou N<sub>2</sub>O</sup> = Fator de emissão de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ou N<sub>2</sub>O (em kg) para o consumo de um dado combustível (em TJJ)

27 Para avaliação da confiabilidade dos dados de emissão de poluentes atmosféricos em 2020 nas usinas termelétricas inventariadas, disponibilizados por meio de Rapp/Ibama, foram utilizados como referência os fatores de emissão publicados pela Agência Ambiental Europeia em seu Guia Técnico para Preparação de Inventários (EEA, 2019), que faz parte das fontes bibliográficas do Inventário Nacional (MCTI, 2020b).

28 As dez seguintes usinas tiveram suas informações de emissões de NO<sub>x</sub> desconsideradas: Cristiano Rocha, Geramar I, Geramar II, Jaraqui, Mauá 3, Pernambuco III, Ponta Negra, Tambaqui, Termocabo e Viana.

29 Não foi possível encontrar informações de emissões de NO<sub>x</sub> das 21 seguintes usinas: Cuiabá, Goiânia II, Manauara, Maracanaú I, Maranhão IV, Maranhão V, MC2 Nova Venécia 2, Parnaíba IV, Pau Ferro I, PCT CEMAT, PCT ENERSUL, Petrolina, Potiguar, Potiguar III, Santa Rita, Santana, Termomanaus, Termopernambuco, U-50, Uruguaiana e Xavantes Aruanã.



**TABELA 5** Fatores de emissão de gases de efeito estufa para queima de combustíveis em termelétricas

	kgCO <sub>2</sub> /TJ	kgCH <sub>4</sub> /TJ	kgN <sub>2</sub> O/TJ
<b>Carvão vapor 3300</b> (carvão mineral lignito)	101.000	0,6	0,8
<b>Carvão vapor 4500</b> (carvão mineral sub-betuminoso)	96.100	0,6	0,8
<b>Carvão vapor 6000</b> (carvão mineral betuminoso)	94.600	0,6	0,8
<b>Óleo combustível</b>	77.400	0,8	0,3
<b>Óleo diesel</b>	67.616*	4,0	0,6
<b>Gás de refinaria</b>	57.600	4,0	1,0
<b>Gás natural seco</b>	56.100	4,0	1,0

\* O fator de emissão do óleo diesel considera que 9% do volume desse combustível queimado em centrais elétricas em 2020 foi composto por biodiesel (EPE, 2021b); outros 91% são de diesel de petróleo, que possui fator de 74.100 kgCO<sub>2</sub>/TJ (MCTI, 2020b). Conforme metodologia indicada pelo IPCC para inventariar emissões nacionais, a queima da parcela de biodiesel é considerada neutra em emissões de CO<sub>2</sub>, pois todo carbono emitido fora anteriormente capturado da atmosfera durante o crescimento da biomassa (essencialmente soja) usada como matéria-prima para fabricação desse biocombustível (IPCC, 2006).

Fonte: Elaboração própria a partir de MCTI, 2020b.

Frise-se que algumas usinas apresentam consumo de mais de um combustível, um principal e um ou dois secundários. Para o cálculo das emissões totais desses empreendimentos, soma-se a emissão referente a cada um desses combustíveis.

## 6.2.2 Alocação da geração de eletricidade e das emissões aos proprietários das usinas

A partir da identificação da cadeia de proprietários controladores das termelétricas inventariadas, conforme explanado no tópico 6.1.2 deste documento, realizou-se um exercício de distribuição da geração de eletricidade e das emissões de cada usina aos respectivos proprietários. Tal alocação foi feita de forma proporcional à porcentagem de participação de cada proprietário no capital social de uma ou mais térmicas.

Assim, se uma usina hipotética, controlada em 20% pelo produtor “A” e em 80% pelo “B”, emitiu 100 mil toneladas de CO<sub>2</sub>e, a parcela de emissões alocada para o produtor “A” será de 20 mil toneladas, enquanto o produtor “B” será responsável pelas outras 80 mil. Se esse produtor “B” ainda tiver 100% de controle sobre uma outra usina que emitiu 50 mil toneladas de carbono, suas emissões totais serão de 130 mil toneladas (80 mil referentes a uma usina e 50 mil à outra).

As origens dessas porcentagens de controle utilizadas neste inventário estão detalhadas no tópico 6.1.2 e evidenciadas na tabela 3 desta publicação.



# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Composição Societária dos Agentes do Setor Elétrico. **Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel)**, 2021a. Disponível em: <<https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/composicao-societaria-dos-agentes-do-setor-eletrico>>. Acesso em: 2021.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Download. **Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico (Sigel)**, 2021b. Disponível em: <<https://sigel.aneel.gov.br/Down/>>. Acesso em: 2021.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Aneel Nº 921, de 23 de Fevereiro de 2021**. Aneel - Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília, p. 7. 2021c. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021921.pdf>>. Acesso em: 2022.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Aneel Nº 948, de 16 de Novembro de 2021**. Aneel - Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília, p. 120. 2021d. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021948.pdf>>. Acesso em: 2022.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Sistema de Informações de Geração da Aneel (Siga). **Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel)**, 2021e. Disponível em: <<https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/siga>>. Acesso em: 2021.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Painel Dinâmico de Movimentação de Gás Natural em Gasodutos de Transporte. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)**, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-contenido/paineis-dinamicos-da-anp/painel-dinamico-de-movimentacao-de-gas-natural-em-gasodutos-de-transporte>>. Acesso em: 2021.

CCEE - CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Acervo CCEE. **CCEE**, 2021. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br/web/guest/acervo-ccee>>. Acesso em: 2021.

EEA - EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019 - Energy Industries - Combustion in Energy and Transformation Industries**. European Environment Agency (EEA). Copenhagen, p. 116. 2019. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-1-energy-industries/view>>. Acesso em: 2021.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados Horizonte 2024 - Ciclo 2019**. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Rio de Janeiro, p. 55. 2019. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/relatorio-de-planejamento-para-atendimento-aos-sistemas-isolados-horizonte-2024-ciclo-2019>>. Acesso em: 2022.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2021 - Ano base 2020**. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Rio de Janeiro, p. 301. 2021a. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>>. Acesso em: 2021.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanco Energético Nacional (BEN) - Séries Históricas e Matrizes - Capítulo 5 - Balanco dos Centros de Transformação 1970-2020. **Empresa de Pesquisa Energética (EPE)**, 2021b. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Complexas>>. Acesso em: 2021.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental (TCFA). **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (Ibama)**, 2020. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/tcfa>>. Acesso em: 2022.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Emissões de Poluentes Atmosféricos. **Dados Abertos**, 2021a. Disponível em: <<https://dadosabertos.ibama.gov.br/dataset/emissoes-de-poluente-atmosfericos>>. Acesso em: 2021.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Fontes Energéticas. **Dados Abertos**, 2021b. Disponível em: <<https://dadosabertos.ibama.gov.br/dataset/fontes-energeticas>>. Acesso em: 2021.





IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e/ou Utilizadoras de Recursos Ambientais (CTF/APP). **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (Ibama)**, 2022a. Disponível em: <<https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/servicos/cadastros/cadastro-tecnico-federal-ctf/cadastro-tecnico-federal-de-atividades-potencialmente-poluidoras-e-ou-utilizadoras-de-recursos-ambientais-ctf-app/cadastro-tecnico-federal-de-atividades-potencialmente-poluidoras-e-ou-utilizadoras-de-recursos-ambientais-ctf-app>>. Acesso em: 2022.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Relatório de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais (RAPP). **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (Ibama)**, 2022b. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/relatorios/atividades-poluidoras/relatorio-de-atividades-potencialmente-poluidoras-e-utilizadoras-de-recursos-ambientais-rapp>>. Acesso em: 2022.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades@. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)**, 2022. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 2022.

IEMA - INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. **Série Termoeletricidade em Foco - Uso de Água em Termoeletricas**. Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA). São Paulo, p. 34. 2016. Disponível em: <<http://energiaemambiente.org.br/produto/uso-de-agua-em-termoeletricas>>. Acesso em: 2022.

IEMA - INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. **Análise Prévia dos Leilões de Energia Existente A-4 e A-5 de 25 de Junho de 2021**. Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA). São Paulo, p. 10. 2021. Disponível em: <<https://energiaemambiente.org.br/produto/analise-previa-dos-leiloes-de-energia-existente-lee-a-4-e-a-5-de-25-de-junho-de-2021>>. Acesso em: 2021.

IEMA - INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. Plataforma da Qualidade do Ar. **Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA)**, 2022. Disponível em: <<https://energiaemambiente.org.br/qualidadedoar>>. Acesso em: 2022.

INEA - INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. **Relatório da Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro**. Instituto Estadual do Ambiente (Inea). Rio de Janeiro, p. 163. 2020. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/publicacoes/publicacoes-inea/relatorios-e-inventarios>>. Acesso em: 2021.

INEA - INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. Dados do Monitoramento da Qualidade do Ar e Meteorologia. **Qualiar**, 2021. Disponível em: <<http://200.20.53.25/qualiar/home/index>>. Acesso em: 2021.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 2: Energy - Chapter 2: Stationary Combustion**. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). [S.l.], p. 47. 2006. Disponível em: <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>>. Acesso em: 2021.

MCTI - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Brasília, p. 622. 2020a. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/comunicacoes-nacionais-do-brasil-a-unfccc>>. Acesso em: 2021.

MCTI - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. **Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa - Relatório de Referência - Setor Energia - Subsetor Queima de Combustíveis - Abordagem Setorial**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Brasília, p. 178. 2020b. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>>. Acesso em: 2021.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Boletim Mensal de Acompanhamento da Indústria de Gás Natural - Edição 166 - Destaques de Dezembro de 2020**. Ministério de Minas e Energia (MME). Brasília, p. 38. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/publicacoes-1/boletim-mensal-de-acompanhamento-da-industria-de-gas-natural/2020>>. Acesso em: 2021.

ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Produção Térmica por Usina. **Boletim Diário da Operação**, 2021. Disponível em: <<http://sdro.ons.org.br/SDRO/DIARIO/index.htm>>. Acesso em: 2021.

ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Resultados da Operação - Histórico da Operação - Geração de Energia. **Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)**, 2022. Disponível em: <[http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao\\_energia.aspx](http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.aspx)>. Acesso em: 2022.

SEEG - SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. Emissões por Setor - Energia. **SEEG Brasil**, 2021. Disponível em: <<https://plataforma.seeg.eco.br/sectors/energia>>. Acesso em: 2021.

SPTrans - São Paulo Transporte. Relatório Integrado da Administração 2020. **SPTrans**, 2021. Disponível em: <<https://www.sptrans.com.br/relatorio-integrado-da-administracao-2020/>>. Acesso em: 2022.

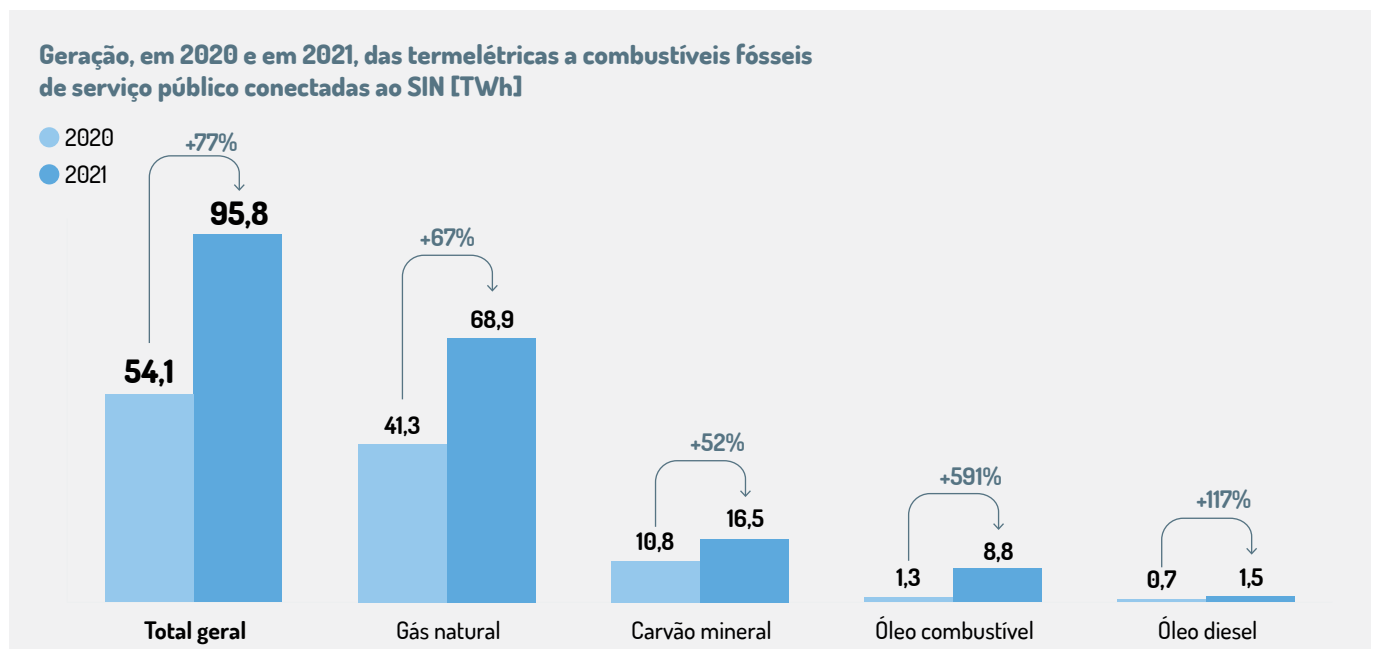
# ANEXO:

## Estimativa simplificada de emissões de CO<sub>2</sub>e por termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público do SIN em 2021

Para elaboração de uma estimativa simplificada de emissões de CO<sub>2</sub>e em 2021 referentes ao recorte deste inventário, foram levantados dados de eletricidade gerada em cada usina por meio do [Histórico de Operação da ONS](#).

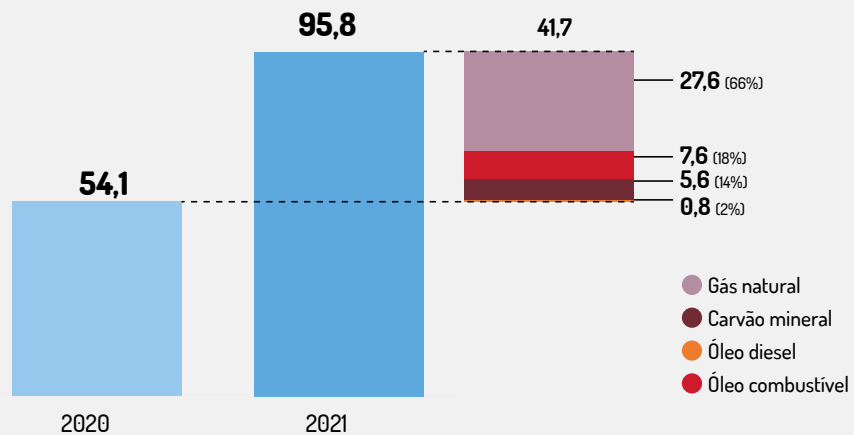
Nesse sentido, a figura abaixo apresenta as somatórias dos dados coletados para 2021, segmentados por combustível principal utilizado pelas usinas geradoras. Em tal ilustração, os valores de 2021 também são comparados com os números referentes a 2020, que foram apresentados ao longo deste documento.

Em 2021, foi notável a expansão da geração fóssil em comparação com 2020. Essa expressiva elevação ocorreu para todos os combustíveis, sendo que, em termos absolutos, usinas movidas a gás natural foram as que mais contribuíram com o aumento (variação positiva de 27,6 TWh). Grosso modo, a geração termelétrica aumentou em 2021 devido a dois fatores: a recuperação parcial das atividades econômicas após o período mais crítico da pandemia de Covid-19, o que aumentou a demanda por eletricidade no país; e, principalmente, a crise hídrica de 2021, que fez com que a geração via hidrelétricas fosse prejudicada de maneira relevante.



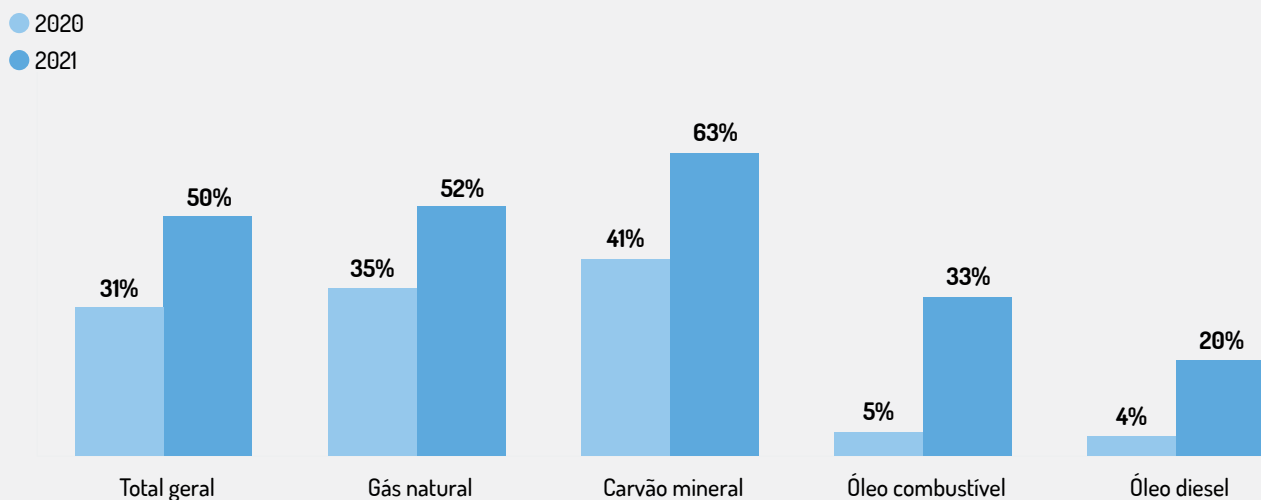
A próxima ilustração enfatiza a diferença entre a geração termelétrica nos anos de 2020 e 2021, apresentando a parcela de incremento de eletricidade gerada por meio de cada combustível fóssil. Como já citado, as usinas a gás natural foram as que mais tiveram suas gerações incrementadas, representando 66% da variação total de 41,7 TWh observada entre os dois últimos anos.

**Participação de cada fonte energética na variação, de 2020 para 2021, da geração em termelétricas a combustíveis fósseis de serviço público conectadas ao SIN [TWh]**



Observou-se que o aumento da geração de um ano para o outro se deu, essencialmente, pela maior utilização de usinas que já haviam operado em 2020 - menos de 3% da eletricidade gerada em 2021 foi proveniente de usinas que não haviam operado no ano anterior. Com isso, o fator de capacidade das termelétricas fósseis aumentou de 31% em 2020 para 50% em 2021, com destaque para as usinas a carvão mineral, que operaram a 63% de sua capacidade.

**Fatores de capacidade por combustível, em 2020 e em 2021, das termelétricas fósseis de serviço público conectadas ao SIN**



Até o momento em que esta seção foi escrita (maio de 2022), os dados de consumo de combustíveis para termelétricas ainda não tinham sido totalmente divulgados no [portal de dados abertos do Ibama](#). Por isso, para elaborar as estimativas simplificadas referentes a 2021, foram empregados fatores médios de emissão (tCO<sub>2</sub>e/GWh) obtidos a partir dos dados de 2020.

Ou seja, para se obter a emissão de cada usina, os fatores médios foram multiplicados pelas respectivas gerações; e as seguintes premissas foram adotadas:

- Para as termelétricas que já haviam operado em 2020, foram mantidas as taxas de emissão específicas (tCO<sub>2</sub>e/GWh), de acordo com o apresentado na figura 16 deste relatório.
- Já para as usinas despachadas no SIN apenas em 2021, cujos ciclos de potência e combustíveis eram conhecidos, foram considerados fatores de emissão médios característicos dos devidos arranjos tecnológicos (combinação ciclo de potência e combustível).
- Por fim, para as plantas despachadas no SIN somente em 2021, cujos ciclos de potência não puderam ser identificados, mas que os combustíveis utilizados eram conhecidos, foram aplicados fatores de emissão médios, calculados a partir das emissões e das gera-

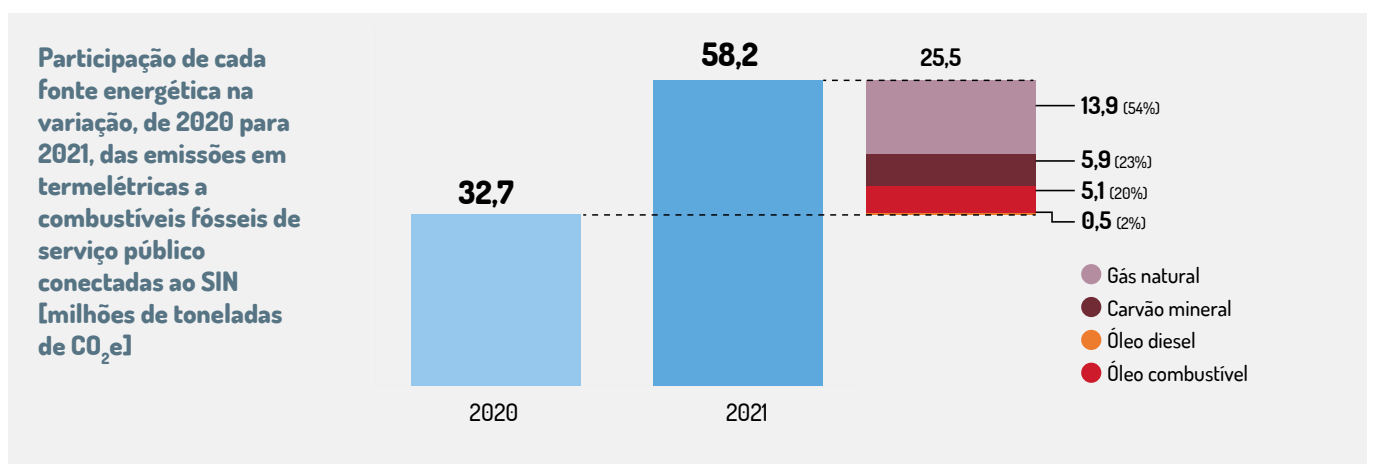
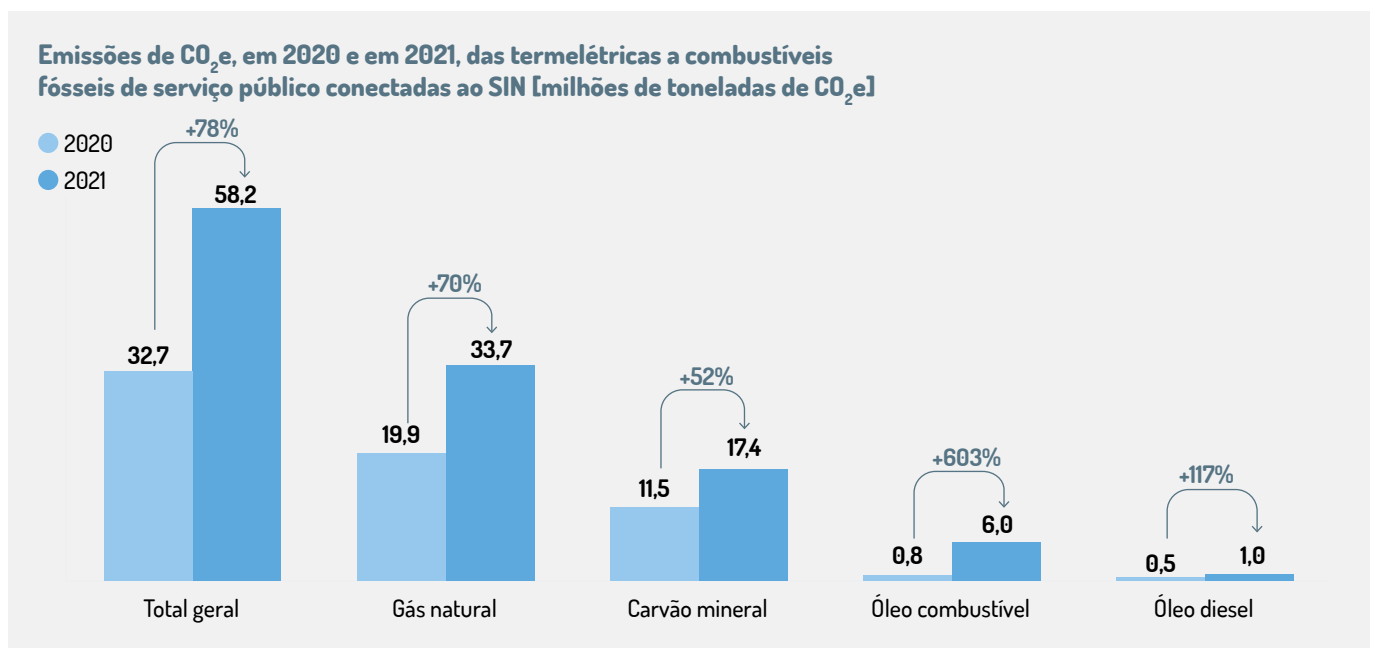


ções de todas as usinas que utilizaram um determinado combustível em 2020. Por exemplo: para uma usina que se sabia ser movida a gás natural, mas que se desconhecia o ciclo de potência, empregou-se o fator de emissão médio calculado para toda a amostra de usinas a gás de 2020.

Como resultado, chegou-se ao valor de 58,2 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e emitidas em 2021 (aumento de 78% em relação ao ano de 2020).

As térmicas a óleo combustível, que pouco operaram nos primeiros nove meses de 2020, foram as que tiveram a maior variação percentual de emissões (+603%). Por outro lado, foram as movidas a gás natural que apresentaram a maior variação absoluta, tendo emitido quase 14 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e a mais em 2021.

De modo análogo ao apresentado para a geração de termelétricidade no biênio 20-21, as figuras abaixo comparam as emissões estimadas para 2020 (conforme metodologia mais detalhada empregada neste inventário) e para 2021 (conforme metodologia simplificada proposta e apresentada neste anexo).





[energiaambiente.org.br](http://energiaambiente.org.br)