

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

VITÓRIA DA SILVA FARIAS

**ESTUDO DE CASO SOBRE AS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA EM
UMA TERMOELÉTRICA DO RS**

**Bagé
2022**

VITÓRIA DA SILVA FARIAS

**ESTUDO DE CASO SOBRE AS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA EM
UMA TERMOELÉTRICA DO RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Sabrina Neves da Silva

**Bagé
2022**

F845e Farias, Vitória da Silva. Estudo de caso sobre as emissões de gases do efeito estufa em uma termoeletrica do RS. / Vitória da Silva Farias.
65 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)-- Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA DE ENERGIA, 2022.
"Orientação: Sabrina Neves da Silva".

1. Energia. 2. Termoeletrica. 3. Crise Hídrica. I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal do Pampa

VITÓRIA DA SILVA FARIAS

ESTUDO DE CASO SOBRE AS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA EM UMA TERMOELÉTRICA DO RS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para o Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 18 de agosto de 2022.

Banca examinadora:

Prof. Dra. Sabrina Neves da Silva
Orientadora
UNIPAMPA

Prof. Dr. Luciano Vieceli Taveira
UNIPAMPA

Profa. Dr. Marcelo Romero de Moraes
UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **SABRINA NEVES DA SILVA**, **PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 12/08/2022, às 15:58, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normavas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **LUCIANO VIECELI TAVEIRA**, **PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/08/2022, às 15:55, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normavas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MARCELO ROMERO DE MORAES**, **PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/08/2022, às 16:17, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normavas legais aplicáveis.



A autencidade deste documento pode ser conferida no site [h ps://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php ?acao=documento_conferir&id_or_gao_acesso_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_or_gao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0882259** e o código CRC **09E2C41D**.

Dedico este trabalho aos meus pais, Sandra e Gilberto, que não mediram esforços para que meus sonhos e objetivos fossem alcançados.

AGRADECIMENTO

Em primeiro lugar, a Deus, por ter me dado disposição para vencer todos os obstáculos no decorrer desses anos de estudo. Ao meu esposo, pelo companheirismo, incentivo nas horas de desânimo e por ter trilhado o caminho até aqui lado a lado comigo. Aos meus pais, que me impulsionaram e encorajaram a seguir por este caminho, pelo apoio e todo esforço que fizeram para que eu concluísse com êxito mais esta etapa em minha vida. À professora Dra. Sabrina Neves da Silva, por ser minha orientadora e ter desempenhado esse papel com excelência e dedicação. A todos com quem convivi ao longo desses anos de curso, que fizeram parte da minha trajetória e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

“As grandes ideias surgem da observação
dos pequenos detalhes”.

Augusto Cury

RESUMO

A crise hídrica além de afetar o abastecimento de água impacta na produção energética uma vez que no Brasil predomina a geração hidrelétrica. Em períodos de estiagem, como no ano de 2021, há a produção energética por usinas termoeletricas. As térmicas fósseis são a principal fonte de emissão de gases de efeito estufa (GEE) do setor elétrico brasileiro. Dessa forma, avaliar as implicações da geração termoeletrica nas emissões de poluentes atmosféricos e de GEE são um passo importante na direção de um debate sobre geração elétrica bem como sobre a necessária integração entre as políticas energética e ambiental. Sendo assim, o presente estudo apresenta uma análise das emissões de GEE relacionado à produção termoeletrica de energia. Foram consultados os Inventários de Emissões de Gases do Efeito Estufa das empresas do grupo Eletrobras de 2016 a 2021. Apresentou-se como estudo de caso os dados da Companhia de Geração e Transmissão de Energia Elétrica do Sul do Brasil (CGT Eletrosul), localizada na cidade de Candiota RS. Foi demonstrado que houve redução de emissão de CO_{2e} de aproximadamente 48% entre 2019 e 2020 apesar do aumento de 35% na geração de energia, contudo, a meta de redução de emissões não está sendo atingida. Com base nesses aspectos, enfatizou-se a importância da diversificação da matriz elétrica nacional, incluindo fontes combustíveis alternativas e energia renovável para contribuir com o cumprimento das metas de redução de emissões de GEE e atendimento aos objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030.

Palavras-Chave: Termoeletrica. Energia. Gases de Efeito Estufa. Emissões.

ABSTRACT

The water crisis not only affects water supply but also has an impact on energy production, as hydroelectric generation predominates in Brazil. During periods of drought, such as in 2021, energy production relies on thermal power plants. Fossil fuel power plants are the main source of greenhouse gas (GHG) emissions in the Brazilian electricity sector. Therefore, evaluating the implications of thermal power generation on atmospheric pollutant and GHG emissions is an important step towards a discussion on electricity generation and the necessary integration between energy and environmental policies. Thus, this study presents an analysis of GHG emissions related to thermal energy production. The Greenhouse Gas Emissions Inventories of the Eletrobras group companies from 2016 to 2021 were consulted. The case study presented the data from the Southern Brazil Power Generation and Transmission Company (CGT Eletrosul), located in the city of Candiota, RS. It was demonstrated that there was a reduction of approximately 48% in CO₂e emissions between 2019 and 2020, despite a 35% increase in energy generation. However, the emissions reduction target is not being achieved. Based on these aspects, the importance of diversifying the national electricity matrix was emphasized, including alternative fuel sources and renewable energy, to contribute to the fulfillment of GHG emissions reduction targets and the achievement of the Sustainable Development Goals (SDGs) of the 2030 Agenda.

Keywords: Thermoelectric. Energy. Greenhouse Gases. Emissions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema efeito estufa.....	18
Figura 2 - Efeito Estufa na Terra.....	19
Figura 3 - Uma caracterização da Amazônia em 2020 e em 2500.....	20
Figura 4 - Matriz Energética Brasileira 2020.....	23
Figura 5 - Matriz Elétrica Brasileira 2020.....	24
Figura 6 - Matriz Energética em Operação em Setembro de 2021.....	25
Figura 7 - UTE Presidente Médici.....	28
Figura 8 - Ciclo Rankine.....	29
Figura 9 - Precipitador Eletrostático e Filtro de Manga.....	30
Figura 10 - Separadores úmido e semi-secos.....	31
Figura 11. Separador Seco.....	31
Figura 12 - Redução Catalítica Seletiva e Queimadores de Baixa emissão de NOx.....	32
Figura 13 - Participação societária da Eletrobras.....	39
Figura 14 - Termelétrica Candiota III (Fase C).....	40
Figura 15 - Estado do Rio Grande do Sul.....	41
Figura 16 - Cidade de Candiota.....	41
Figura 17 - Mina de Candiota - Regeneração Topográfica e revegetação.....	42
Figura 18 - Processo de Elaboração do Inventário de Emissões de GEE.....	43
Figura 19 - Processo de aquisição de dados para elaboração do inventário de emissões de GEE.....	45
Figura 20 - Emissões de GEE no período de 2016 a 2021 na CGT Eletrosul.....	47
Figura 21 – Emissões totais de CO _{2e} e geração de energia entre 2016 e 2021 na CGT Eletrosul.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões de Qualidade do Ar.....	21
Tabela 2 - Níveis de atenção, alerta e emergência.....	22
Tabela 3 - Índice de Qualidade.....	22
Tabela 4 - Eficiência dos Métodos.....	32
Tabela 5 - Características do Carvão da Jazida de Candiota.....	42
Tabela 6 - Fatores de ponderação GWP para conversão de GEE em CO ₂ e.....	46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação entre os poluentes emitidos e os principais combustíveis fósseis utilizados na geração termoelétrica.....	29
Quadro 2 - Levantamento de Estudo de Análises de Inventários de Emissões.....	34

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Matriz Elétrica brasileira 2021.....	26
--------------------------------------------------	----

LISTA DE SIGLAS

BEN – Balanço Energético Nacional

CGTEE - Companhia de Geração e Transmissão de Energia Elétrica do Sul do Brasil

CH₄ – Metano

CO₂ – Gás Carbônico

CO_{2e} – Dióxido de Carbono Equivalente

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CRM - Companhia Riograndense de Mineração

FCA - Ferramenta de Coleta e Análise

FUS - Ferramenta de Estimativa de Emissões em Atividades de Uso do Solo

GEE – Gases de Efeito Estufa

GT3 - Grupo de Trabalho Estratégia Climática

IGS - Sistema Indicadores de Gestão da Sustentabilidade

IPPC - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

MICTIC - Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

N₂O – Óxido Nitroso

NO_x – Óxidos de Nitrogênio

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU - Organizações das Nações Unidas

PRONAR - Programa Nacional de Qualidade do Ar

SIN - Sistema Interligado Nacional

SO_x – Óxidos de Enxofre

UTE - Usinas Termoelétricas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Objetivo Geral.....	16
1.2 Objetivos Específicos.....	16
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 Efeito estufa e aquecimento global.....	17
2.2 Legislação de emissões atmosféricas.....	20
2.3 Emissões em Usinas Termoeletrica e Sistemas de Controle.....	23
2.3.1 Matriz Energética e Elétrica Brasileira.....	23
2.3.2 Geração Termoeletrica Brasileira.....	26
2.3.3 Origem das emissões.....	28
2.4 Gestão ambiental e monitoramento de emissões em Usinas Termoeletricas.....	33
2.5 Inventário de Emissões.....	34
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
3.1 Descrição das Empresas do grupo Eletrobrás.....	37
3.2 Caracterização da CGT Eletrosul.....	38
3.3 Aquisição de dados para elaboração do inventário.....	42
4 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	46
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
REFERÊNCIAS.....	50
ANEXOS.....	57

1 INTRODUÇÃO

Ações antrópicas e o aumento da demanda por energia estão entre os fatores responsáveis por diversos impactos sociais. Neste contexto, destacam-se as mudanças climáticas e a degradação da qualidade do ar decorrentes do aumento de emissões GEE na atmosfera (LEITE et al. 2020).

O gás carbônico (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), compreendem os principais GEE's e recebem tal denominação por reterem e redirecionarem a radiação infravermelha em excesso na superfície terrestre. Dessa forma, é mister que haja avanços em pesquisas técnico-científicas a fim de mitigar as emissões destes poluentes para contribuir com a sustentabilidade do planeta (RENAN BESEN et al., 2018).

No ano de 2021, a crise hídrica afetou a geração de energia elétrica. A principal medida adotada para evitar um apagão energético foi acionar as termelétricas. Como consequência, houve um aumento das emissões de GEE e o consequente aumento dos impactos ambientais. Em contrapartida, o Brasil possui grande potencial de geração de energia renovável tais como a energia solar, eólica e a partir de biomassa (IEMA, 2021).

Para atender aos princípios de sustentabilidade ambiental, a Eletrobras elabora, anualmente, desde 2008, o "Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa". O documento sintetiza as emissões de GEE das Empresas do grupo.

A cidade de Candiota, região da Campanha Gaúcha, possui duas Usinas Termoelétrica (UTE's) à carvão mineral em operação. Com isso, o impacto ambiental na região é bastante afetado.

Como exemplo, tem-se a Termelétrica Candiota III Fase C da Companhia de Geração Térmica (CGT) da Eletrosul, no ano de 2021, registrou sua maior geração média anual, desde a entrada em operação comercial, em 2011 (TERMELÉTRICA, 2022). Além disso, com base no inventário do ano base 2021, a CGT Eletrosul foi responsável por 32,5% do total de emissões das empresas do grupo Eletrobras (inventário de 2021).

Com base nos aspectos apresentados, no presente estudo foi realizado um estudo de caso para analisar as emissões de GEE da CGT Eletrosul, a partir de uma análise de Inventário de Emissões de 2016 a 2021. Espera-se demonstrar a importância da diversificação da matriz elétrica nacional, incluindo fontes

combustíveis alternativas e energia renovável para suprir a demanda de energia em momentos de clima desfavorável e para contribuir com o cumprimento das metas de redução de emissões de GEE e atendimento dos objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, que é um Protocolo Internacional, assinado por 193 países, na Assembleia Geral das Organizações das Nações Unidas (ONU), em setembro de 2016, onde o governo brasileiro assumiu o compromisso de adotar um modelo de desenvolvimento sustentável, com metas a serem alcançadas até 2030.

1.1 Objetivo Geral

Analisar as emissões de GEE do setor elétrico brasileiro considerando como fonte de geração uma usina termoeletrica do RS.

1.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma análise qualitativa e quantitativa das emissões.
- Verificar se houve variação significativa de emissões em função da crise hídrica de 2021.
- Analisar se está havendo cumprimento das metas de redução de emissões.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, será apresentada a revisão bibliográfica dos principais assuntos relacionados a esta pesquisa. Primeiramente, será abordado o efeito estufa e o aquecimento global. A seguir, trata-se sobre emissões em usinas termoelétricas e sistemas de controle. Por fim, abordam-se as aplicações, importância e características de inventário de emissões com maior ênfase em inventários de usinas termoelétricas.

2.1 Efeito estufa e aquecimento global

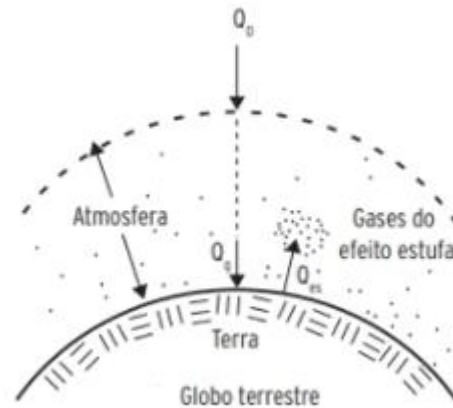
O efeito estufa é um fenômeno natural de vital importância pois o mesmo é responsável por manter a temperatura da terra agradável e ideal para que haja vida no planeta. Segundo Richter, gases como o CH₄, o CO₂ e o N₂O, gases fluorados e outros, provocam o aumento do efeito estufa, sendo o CH₄ um dos mais nocivos. “Em excesso, os GEE’s formam uma espécie de cobertura muito densa que retém o calor, aquecendo a superfície da Terra além do necessário, produzindo alterações no clima e causando problemas ambientais (DA SILVA SANTOS, 2022).”

De acordo com o jornal ambiental OECO.ORG.BR

...sem a presença destes gases, a temperatura média do planeta seria muito baixa (cerca de 18°C negativos). Esta troca de energia entre a superfície e a atmosfera proporciona uma temperatura média global, próxima à superfície, ideal ao desenvolvimento da vida (14°C) (OECO, 2013).

A seguir, na Figura 1, é mostrado um esquema do efeito estufa segundo Reichardt (2016).

Figura 1 - Esquema efeito estufa



Fonte: REICHARDT, 2016

No entanto, esse efeito natural e vital se torna um problema a partir da agravação do mesmo que recebe o nome de aquecimento global. Tal agravação se dá pelo aumento das emissões dos GEE's decorrente das atividades humanas e industriais. Segundo Richter (2012),

A atmosfera do nosso planeta tem sido a área de despejo de todos os tipos de gases durante toda a história da humanidade. Quando aqueles que a usavam para esse fim eram poucos, sua capacidade era grande e não havia problema. Hoje somos mais de seis bilhões e atingimos o ponto em que as atividades humanas sobrecarregaram o lançamento atmosférico e o clima começou a mudar.

“A mudança na concentração dos gases estufa desestabiliza a troca natural de energia (calor), o que, por sua vez, é causa do fenômeno conhecido como aquecimento global (OECD, 2013)”.

A Figura 2 demonstra um esquema mais detalhado do efeito estufa na Terra, nela vê-se a radiação do sol chegando ao planeta, que trabalha de forma a manter-se aquecido. Os GEE's impedem de maneira natural que o calor se dissipe, o que é vital para que exista vida na Terra.

Figura 2 - Efeito Estufa na Terra



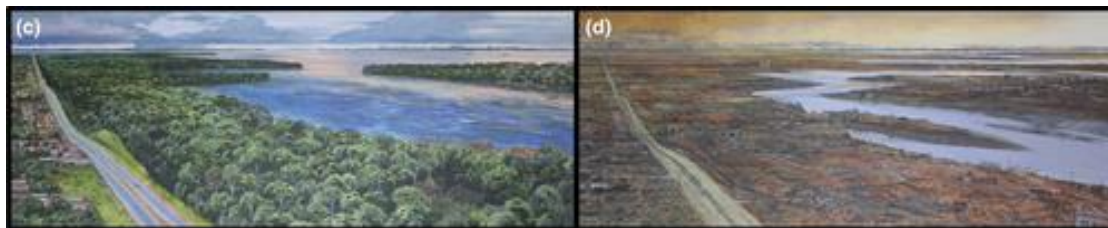
Fonte: DA COSTA SILVA, 2009

Em setembro de 2021 um grupo de cientistas publicou um estudo que estima que caso não sejam tomadas medidas de mitigação dos impactos, “o aquecimento global pode deixar nosso planeta praticamente irreconhecível em 2500: a Amazônia ficará árida, o meio-oeste americano dará lugar a um clima tropical e a Índia ficará quente demais para abrigar vida (GALILEU, 2021).”

No estudo publicado pela revista *Global Change Biology*, os cientistas destacam uma projeção de três regiões, sendo uma delas a Amazônia. Segundo Lyon (2021),

Amazon (c) 2020 e (d) 2500 [...]. Uma caracterização da Amazônia hoje e em 2500. Em 2500, a cobertura florestal pode ter desaparecido em grande parte, com níveis de água superficiais reduzidos. A presença humana e a infraestrutura podem ser mínimas, degradadas ou ausentes, dadas as altas temperaturas e o estresse hídrico.

Figura 3 - Uma caracterização da Amazônia em 2020 e em 2500



Fonte: LYON, 2021

2.2 Legislação de emissões atmosféricas

É de conhecimento geral que a qualidade do ar atmosférico é afetada no entorno de usinas termoelétricas. Entretanto, tais empreendimentos que utilizam processos de combustão de combustíveis fósseis, ou derivados, devem seguir os parâmetros estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Órgão este que por meio da resolução nº03 de 28/09/90 estabelece com base no Programa Nacional de Qualidade do Ar (PRONAR), padrões primários e secundários de qualidade do ar.

Com a publicação da Resolução Conama nº 491, de 19 de novembro de 2018, que “Dispõe sobre padrões de qualidade do ar” no Diário Oficial da União a Resolução CONAMA nº 03/1990 foi revogada e substituída (SALIBA, 2018).

No Brasil, a lei nº. 6.938/81 “Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências” (BRASIL, 1981).

Para os fins previstos nesta Lei, no Art. 3º, entende-se por:

I - Meio Ambiente: conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas;

IV - Poluidor: a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental;

V - Recursos Ambientais: a atmosfera, as águas interiores, superficiais e subterrâneas, os estuários, o mar territorial, o solo, o subsolo e os elementos da biosfera.

A resolução nº 491/2018, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) dispõem sobre os padrões de qualidade do ar.

Art. 2º Para efeito desta resolução são adotadas as seguintes definições:

I - poluente atmosférico: qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade;

II - padrão de qualidade do ar: um dos instrumentos de gestão da qualidade do ar, determinado como valor de concentração de um poluente específico na atmosfera, associado a um intervalo de tempo de exposição, para que o meio ambiente e a saúde da população sejam preservados em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica;

A seguir, a Tabela 1 mostra os padrões de qualidade do ar, representados por poluentes em período de referência de 24h e anual. Na Tabela 2, tem-se os níveis de atenção, alerta e emergência para poluentes e suas concentrações. Por fim, a Tabela 3 apresenta os níveis de qualidade do ar.

Tabela 1 - Padrões de Qualidade do Ar

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF	
		mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	ppm
Material Particulado- MP10	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material Particulado- MP2.5	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ¹	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre- SO ₂	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ¹	40	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio – NO ₂	1 hora ²	260	240	220	200	-
	Anual ¹	60	50	45	40	-
Ozônio- O ₃	8 horas ³	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono- CO	8 horas ³	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão - PTS	24 horas	-	-	-	240	-

	Anual ⁴	-	-	-	80	-
Chumbo – Pb5	Anual ¹	-	-	-	0.5	-
1 – média aritmética anual						
2 – média horária						
3 – máxima média móvel obtida no dia						
4 – média geométrica anual						
5 – medido nas partículas totais em suspensão						

Fonte: CONAMA, 2018

Tabela 2 - Níveis de atenção, alerta e emergência

Nível	Poluentes e concentrações					
	SO2 mg/m ³ (média de 24h)	Material Particulado	CO Ppm (média móvel de 8h)	O3 mg/m ³ (média móvel de 8h)	NO2 mg/m ³ (média de 1h)	
		MP10	MP2.5			
		Mg/m ³ (média de 24h)	Mg/m ³ (média de 24h)			
Atenção	800	250	125	15	200	1130
Alerta	1600	420	210	30	400	2260
Emergência	2100	500	250	40	600	3000

Fonte: CONAMA, 2018

Tabela 3 - Índice de Qualidade

Qualidade	Índice	MP10	MP2.5	O3	CO	NO2	SO2
		(µg/m ³) 24h	(µg/m ³) 24h	(µg/m ³) 8h	(µg/m ³) 8h	(µg/m ³) 1h	(µg/m ³) 24h
N1 - Boa	0-40	0-50	0-25	0-100	0-9	0-200	0-20

Fonte: CONAMA, 2018

A lei estadual nº 11.520/2000 dispõe sobre o código estadual do meio ambiente para o Estado do Rio Grande do Sul. As medidas de utilização e conservação do ar estão no capítulo 3º do código. A lei estipula que a gestão dos recursos atmosféricos deve ser feita por Regiões de Controle de Qualidade do ar e Áreas especiais, tomando, se necessário, ações de gestão específicas e diferenciadas para buscar equilibrar as atividades relacionadas ao desenvolvimento socioeconômico e manter a integridade da atmosfera (TISSOT, 2010).

Destaca-se portando, dois artigos do código, o artigo 145 que frisa que a conservação da atmosfera é uma obrigação de todos e a gerência é de responsabilidade do Estado. O artigo 147 dispõe das competências do Poder Público; destaca-se o inciso V: é dever do Poder Público estabelecer limites máximos de emissões de poluentes na atmosfera.

Art. 145 - A atmosfera é um bem ambiental indispensável à vida e às atividades humanas, sendo sua conservação uma obrigação de todos, sob a gerência do Estado em nome da sociedade (RIO GRANDE DO SUL, 2000).

Art. 147 - Compete ao Poder Público:

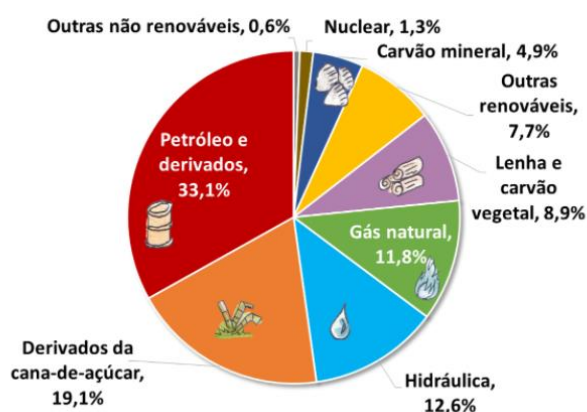
V - estabelecer limites máximos de emissão e de condicionamento para o lançamento de poluentes na atmosfera, considerando as Classes de Uso, as condições de dispersão de poluentes atmosféricos da região, a densidade de emissões existentes, as diferentes tipologias de fontes poluidoras e os padrões de qualidade do ar a serem mantidos (RIO GRANDE DO SUL, 2000).

2.3 Emissões em Usinas Termoeletrica e Sistemas de Controle

2.3.1 Matriz Energética e Elétrica Brasileira

Uma matriz energética “[...] representa o conjunto de fontes disponíveis em um país, estado, ou no mundo, para suprir a necessidade (demanda) de energia (EPE, 2021).” A Figura 4 mostra a matriz energética brasileira do ano de 2020. Nota-se que o petróleo e derivados correspondem à 33,1% da matriz, seguido por derivados da cana de açúcar com 19,1% (EPE, 2021).

Figura 4 - Matriz Energética Brasileira 2020

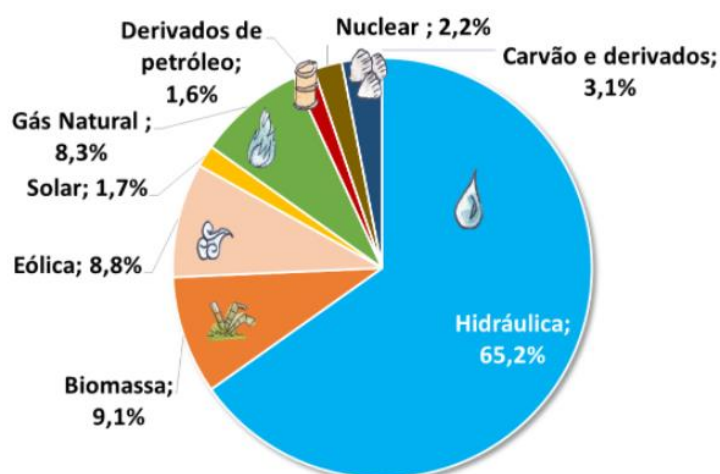


Fonte: EPE, 2021

Enquanto a matriz energética representa o conjunto de fontes de energia disponíveis para movimentar os carros, preparar a comida no fogão e gerar eletricidade, a matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica. Dessa forma, podemos concluir que a matriz elétrica é parte da matriz energética. (EPE, 2021)

Desta forma, a Figura 4 demonstra o conjunto de fontes de energia disponível para uso geral, já a Figura 5 apresenta as fontes disponíveis para geração de energia elétrica apenas. No Brasil, a maior parte da energia gerada é proveniente da fonte hídrica. A energia térmica corresponde a 3,1% da matriz energética em 2020.

Figura 5 - Matriz Elétrica Brasileira 2020



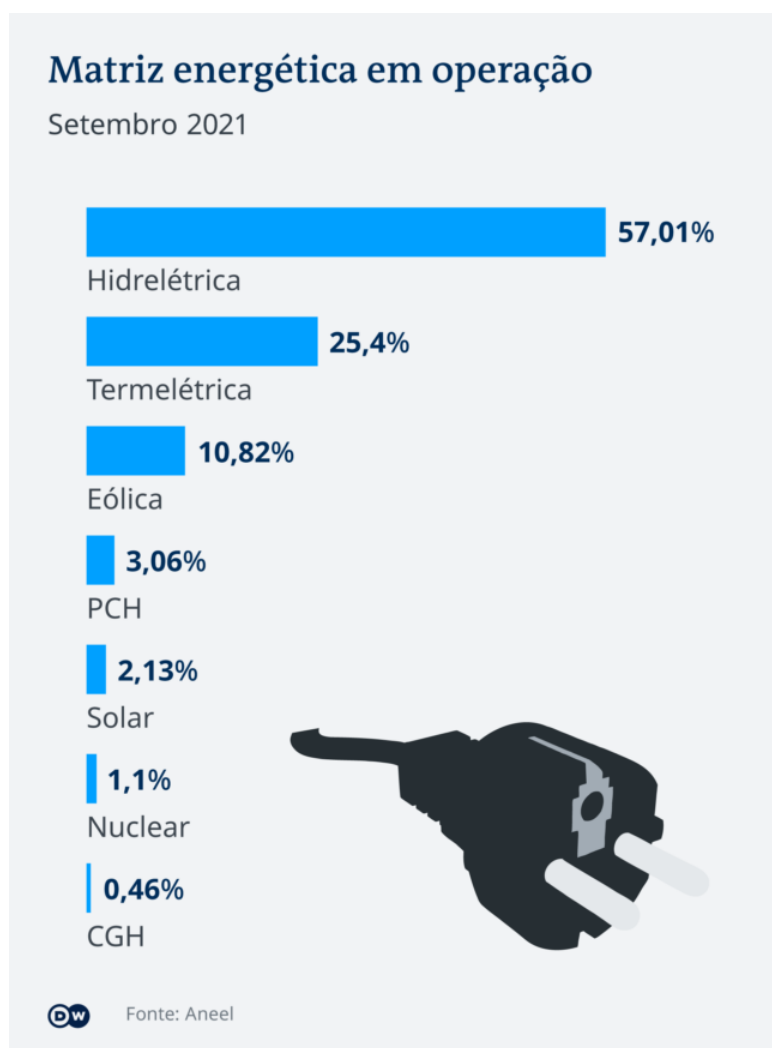
Fonte: EPE, 2021

Em 2021, o Brasil enfrentou uma crise hídrica o que fomentou a produção de energia a partir das centrais termelétricas. Segundo uma matéria publicada no jornal PODER 360 em outubro de 2021:

O Brasil nunca gerou tanta eletricidade em centrais termelétricas como em agosto deste ano. Dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) mostram que 14.143 gigawatts-hora (GWh) foram produzidos no período, 12% a mais que o total registrado no auge da última crise hídrica, em 2015.

Em setembro de 2021 25,4% da matriz energética Brasileira estava composta por energia gerada a partir de termelétricas. Conforme a Figura 6.

Figura 6 - Matriz Energética em Operação em Setembro de 2021



Fonte. Retirado da revista PODER 360, publicado em outubro de 2021

A crise hídrica de 2021 decorrente da falta de chuvas deixou impactos no balanço energético brasileiro naquele ano, fazendo com que outras fontes de geração de energia fossem acionadas, principalmente as centrais térmicas. Fato este que gerou impactos na economia, já que a termoeletricidade é uma forma mais cara de geração de energia (MOURA, 2022).

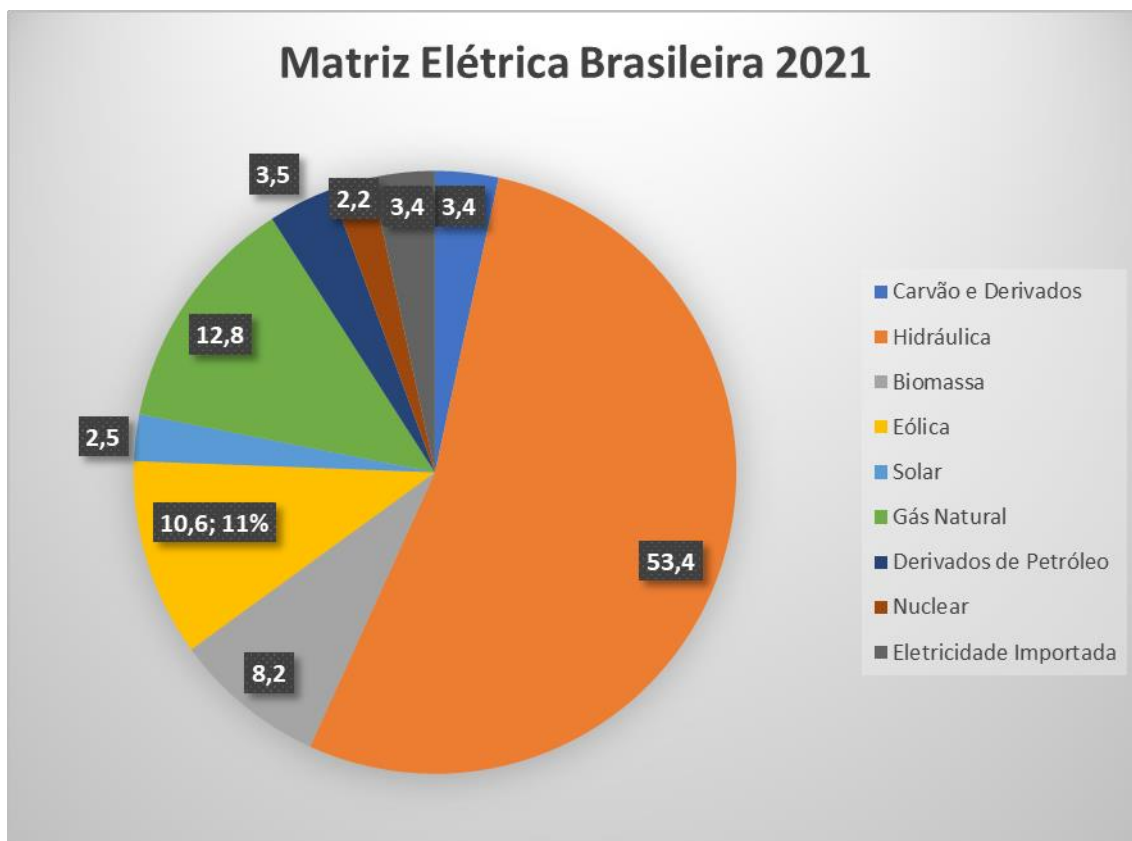
Segundo os dados fornecidos pelo MME – Ministério de Minas e Energias, em maio desse ano a fonte de energia proveniente das águas correspondeu a 71,8% do valor total gerado no país, a geração de energia térmica correspondeu a 17,7%, energia eólica correspondeu a 9,4% e a energia solar em 1,1%. (MOURA, 2022)

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) 2022 publicado pela EPE,

A escassez de chuvas em 2021 provocou uma redução do nível dos reservatórios das principais hidrelétricas do país e a consequente redução

da oferta de hidreletricidade. Esta queda foi compensada pelo aumento da oferta de outras fontes, como o carvão vapor (+47,2%), gás natural (+46,2%), eólica (+26,7%) e solar fotovoltaica (+55,9%).

Gráfico 1 - Matriz Elétrica brasileira 2021



Fonte: Elaborado pelo autor com dados do BEN 2022

2.3.2 Geração Termoeleétrica

Usinas termelétricas produzem energia a partir da queima de carvão, óleo combustível e gás natural em uma caldeira, ou pela fissão de material radioativo (como o urânio). O maior impacto ambiental produzido pelas termelétricas são os gases, muitos deles de efeito estufa. São produzidos óxidos e dióxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido e dióxido de carbono, outros gases e particulados. (FUCCI, 2016)

“A poluição atmosférica pode ser originada por diferentes fatores e seus efeitos são comumente discutidos em muitos textos e artigos científicos. [...] Um tipo particular de poluição é aquele resultante da queima de combustíveis fósseis para a geração de energia (MORAES, 2010).”

Poluentes atmosféricos são gases e partículas sólidas (poeiras, pós e fumos) resultantes das atividades humanas e de fenômenos naturais dispersos no ar

atmosférico. Do total de raios solares que atingem o planeta, quase 50% ficam retidos na atmosfera; o restante, que alcança a superfície terrestre, aquece e irradia calor. Como falado anteriormente, esse processo é chamado de efeito estufa. A intensificação desse processo natural é causada pela emissão de gases poluentes para a atmosfera e é chamado de Aquecimento Global (FUCCI, 2016).

Em uma usina térmica a energia é produzida a partir da combustão de um combustível fóssil ou através de fissão. Em síntese, são formadas por: caldeira, turbina e alternador. Sendo estes 3, os principais elementos de uma central termoelétrica, cada um dos elementos é responsável por uma parte do processo de geração de energia. A caldeira é como um trocador de calor complexo, nela é liberada a energia térmica proveniente da queima do combustível na câmara de combustão, e então a temperatura da água aumenta o que faz com que seja gerado o vapor a altas temperaturas e pressão. “A turbina é uma máquina térmica rotativa que transforma a energia potencial do vapor (pressão) produzido na caldeira em energia mecânica (rotação) a ser transferida ao alternador por intermédio da energia cinética (velocidade).” Por fim, no alternador a energia elétrica é produzida, a partir da transformação da energia mecânica que é recebida através do eixo da turbina (TISSOT, 2010).

“Por definição da ANEEL, usina termelétrica é uma “instalação de produção de energia elétrica a partir do aproveitamento da energia térmica obtida pela combustão de um combustível fóssil ou biomassa” (ESFERA, 2021 apud ANEEL, 2020).

A UTE PRESIDENTE MÉDICI, localizada na cidade de Candiota, região da Campanha Gaúcha (Figura 7) é do tipo térmica à vapor e o combustível utilizado é o carvão mineral. Nas térmicas à vapor segundo a Esfera Energia:

A geração de energia se dá por meio da queima de combustíveis fósseis, de modo que o calor do processo aquece a água em uma caldeira, a qual se transforma em um vapor com alta pressão que faz as pás das turbinas da usina girarem. Elas estão ligadas a geradores que têm um campo eletromagnético e, assim, a energia potencial é transformada em energia elétrica. Depois, a água é novamente resfriada em um condensador para que o ciclo recomece (ESFERA, 2021).

Figura 7 - UTE Presidente Médici



Fonte. CGTE Eletrosul

2.3.3 Origem das emissões

Durante o processo de geração de energia a partir da combustão do carvão mineral são emitidos GEE's. Segundo dos Santos (2014), o dióxido de enxofre (SO_2) emitido pela combustão do carvão nos complexos termoelétricos é um dos gases mais nocivos para a atmosfera, apesar de ter uma vida curta na atmosfera, o gás se dispersa por grandes regiões.

De acordo com o Instituto de Energia e Meio Ambiente, existem alguns fatores que definem as emissões de poluentes nos complexos termoelétricos, podendo variar de acordo com o combustível utilizado, a tecnologia de geração e até mesmo o ciclo termodinâmico. Porém, o tipo de combustível usado, é o principal elemento a determinar a natureza e a intensidade dos poluentes (VISCONDI, 2016).

Ainda segundo Viscondi (2016), a emissão do CO_2 está diretamente ligada ao combustível utilizado, já o material particulado está relacionado ao processo de combustão incompleta ou até mesmo cinzas que não são combustíveis. Já no caso dos NO_x a causa é a queima do combustível em contato com ar e os SO_x são formados sempre que há a combustão de um material que possui enxofre em sua composição.

No caso das UTE's que utilizam carvão mineral como combustível, a emissão dos poluentes citado anteriormente é alta, enquanto utilizando combustíveis como óleo diesel e óleo combustível a emissão é média, conforme o Quadro 1.

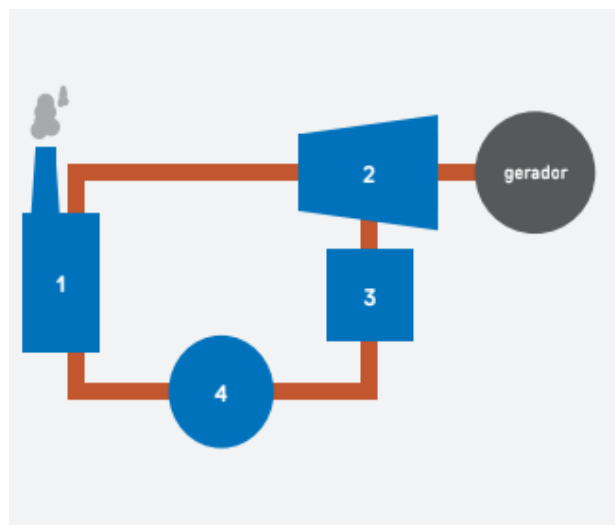
Quadro 1 - Relação entre os poluentes emitidos e os principais combustíveis fósseis utilizados na geração termoeleétrica

Combustível	SO ₂	NO _x	MP	CO ₂
Carvão Mineral	Alto	Alto	alto	Alto
Óleo Diesel e Óleo Combustível	Médio	Médio	médio	Médio
Gás Natural	Baixo	Alto	baixo	Médio

Fonte: VISCONDI, 2016. (Adaptado pelo autor)

Basicamente, o ciclo Rankine opera a partir do vapor que é produzido na caldeira, este é levado até a turbina onde a rotação nas pás é produzida, fazendo com que haja perda de pressão. O combustível que alimenta a caldeira fornece o calor necessário para a transformação da água em vapor e então, nessa etapa as emissões tem origem. Um eixo transmite a rotação das pás da turbina até o gerador elétrico, e então, após o vapor perder pressão na turbina, passa pelo condensador, para retornar ao estado líquido para que através de uma bomba volte à caldeira e o ciclo reinicie (VISCONDI, 2016). Conforme mostrado na Figura 8. Onde em 1 tem-se a bomba, 2 a caldeira, 3 a turbina e 4 o condensador.

Figura 8 - Ciclo Rankine



Fonte: VISCONDI, 2016

Existem algumas alternativas tecnológicas que visam o controle ambiental da emissão dos principais poluentes emitidos pela geração de energia a partir das centrais térmicas.

Os precipitadores eletrostáticos utilizam cargas elétricas para separar as partículas de um fluxo de gás, desta maneira, é promovida a remoção do material particulado dos gases. O princípio aplicado é a ionização das partículas por meio de um campo elétrico. A eficiência de remoção fica entre 95 e 99,5% dependendo das especificidades do material particulado (VISCONDI, 2016).

Outra tecnologia utilizada para controle das emissões de material particulado são os filtros de mangas. Basicamente, o princípio de funcionamento é como de um aspirador de pó residencial. Uma bolsa de pano funciona como um filtro mesmo, onde chega um fluxo de ar carregado de poeira e ao passar pela bolsa de pano a poeira fica acumulada no mesmo o que gera um fluxo de ar limpo. Os filtros podem ser de algodão, poliéster, papel, etc., os quais são selecionados de acordo com a aplicação. Eficiência de remoção fica entre 99,8 e 99,9% dependendo das especificidades do material particulado (VISCONDI, 2016).

A seguir, na Figura 9 são mostrados na direita o filtro de manga e na esquerda o precipitador eletrostático.

Figura 9 - Precipitador Eletrostático e Filtro de Manga



Fonte: VISCONDI, 2016

Para controle de emissões de SO_x utilizam-se os separadores úmidos, os semi-secos e os secos. No separador úmido o princípio é o impacto e interceptação da poeira através da água. Possui uma eficiência entre 92% e 98%. Nos separadores semi-secos, é aplicada uma concentração maior de adsorvente o que faz com que os gases de exaustão se misturem na solução adsorvente. Esse

processo gera um resíduo sólido seco que é coletado pelo sistema de controle de material particulado (VISCONDI, 2016).

A Figura 10 mostra os separadores úmidos na esquerda e os semi-secos na direita, enquanto a Figura 11 apresenta o separador seco.

Figura 10 - Separadores úmido e semi-secos



Fonte: VISCONDI, 2016

Figura 11. Separador Seco



Fonte: VISCONDI, 2016

Para o controle dos NO_x utiliza-se redução catalítica seletiva (SCR); queimadores de baixa emissão de NO_x - tecnologias low-NO_x; mudanças dos parâmetros de operação e injeção de água. Na redução catalítica seletiva, os óxidos de nitrogênio são reduzidos à nitrogênio gasoso por meio do uso de catalisadores que podem ser amônia, ureia, hidrogênio, monóxido de carbono ou ácido sulfídrico

(BRITO, 2015). Essa é considerada a tecnologia mais avançada para redução de emissão de NO_x , porém os queimadores de baixa emissão de NO_x - tecnologias low- NO_x são a tecnologia mais comum e mais utilizada, são facilmente adaptáveis a usinas já existentes, consiste em queimadores que inibem a mistura de ar e combustível evitando a formação de NO_x (VISCONDI, 2016). Por fim, inserir água ou vapor a fim de reduzir a temperatura da chama também pode colaborar para o controle da formação do NO_x térmico.

A Figura 12 mostra na esquerda a Redução Catalítica Seletiva e na direita os Queimadores de Baixa emissão de NO_x .

Figura 12 - Redução Catalítica Seletiva e Queimadores de Baixa emissão de NO_x



Fonte: VISCONDI, 2016

A Tabela 4 mostra uma síntese dos métodos de controle e o respectivo poluente bem como a eficiência elaborado a partir das informações supracitadas.

Tabela 4 - Eficiência dos Métodos

Método	Poluente	Eficiência (%)
Precipitador Eletrostático	Material Particulado	94,8 – 99,5
Filtro de Manga	Material Particulado	99,8 – 99,9
Separador úmido	Óxidos de Enxofre	93 – 98
Separador semi-seco	Óxidos de Enxofre	80 – 90
Separador Seco	Óxidos de Enxofre	50 – 60
Redução catalítica seletiva (SCR)	Óxidos de Nitrogênio	80 - 90
Queimadores de baixa emissão de NO_x - tecnologias low- NO_x	Óxidos de Nitrogênio	40 - 60
Mudanças dos parâmetros de operação e injeção de água	Óxidos de Nitrogênio	80

Fonte: Autora, 2022

2.4 Gestão ambiental e monitoramento de emissões em Usinas Termoelétricas

Segundo Barbieri (2017), a gestão ambiental é definida como as atividades administrativas que uma organização realiza visando alcançar efeitos positivos para o meio ambiente com o objetivo de reduzir, eliminar ou compensar os impactos ambientais consequentes da sua atuação.

Conforme a Eletrobras CGT Eletrosul,

A CGT Eletrosul tem o compromisso de implantar e manter seus ativos operacionais com absoluta observância às legislações ambientais e respeito às populações abrangidas pelos seus empreendimentos. Para tanto, segue as diretrizes da Política Ambiental das Empresas Eletrobras, aplicadas em conformidade com o desenvolvimento técnico-científico, as demandas políticas e sociais e acordos internacionais dos quais o Brasil é signatário, como a Convenção do Clima, a Agenda 21 e o Protocolo de Quioto. A CGT Eletrosul se empenha em preservar o meio ambiente com ações concretas, fazendo sua parte para oferecer um mundo melhor às próximas gerações.

Em síntese, o sistema de gestão ambiental da Eletrobrás possui três elementos em destaque, Política Ambiental das Empresas Eletrobras, Comitê de Meio Ambiente das Empresas Eletrobras e Sistema de Indicadores de Gestão da Sustentabilidade Empresarial (Sistema IGS) – Dimensão Ambiental.

A área de meio ambiente da Eletrobras foi criada ao final dos anos 1980, momento em que o setor elétrico brasileiro se empenhava para contribuir com o tratamento da dimensão socioambiental no planejamento, na implantação e na operação de seus empreendimentos. Durante os anos 80 e 90, a Eletrobras produziu diretrizes em consonância com o contexto político, legal e institucional do país, avançando com relação a conceitos, ao conhecimento da natureza e da dimensão das questões a tratar, à estruturação destas atividades nas empresas, à definição de mecanismos de apoio à gestão socioambiental no âmbito do setor e à interação com outras entidades públicas, privadas e com a sociedade (ELETROBRAS).

Fazem parte da gestão ambiental da Empresa:

- Política ambiental Eletrobras;
- Política de sustentabilidade Eletrobras;
- Declaração de compromisso sobre mudanças climáticas;
- Elaboração e publicação de Inventário de emissões de gases de efeito estufa;
- Elaboração e publicação de inventario ambiental;
- Campanha anual contra queimadas;

- Ações Socioambientais da UHE São Domingos;
- Ações Socioambientais da UHE Passo São João;
- Dicas de Preservação Ambiental;
- Cartilha de Plantas Medicinais;
- Projeto Composta CGT Eletrosul - Energia que Transforma;
- Projeto de Captação da Água Pluvial.

2.5 Inventário de Emissões

Segundo o IBGE, um inventário de emissões de gases é uma listagem atualizada que dispõe das emissões atmosféricas causadas por determinada fonte ou grupo de fontes localizada em uma região geográfica específica em um intervalo de tempo definido (IBGE, 2006).

O inventário de fontes de emissão de poluição atmosférica constitui um dos instrumentos de planejamento mais úteis para a gestão da poluição do ar, uma vez que define qualitativa e quantitativamente as atividades poluidoras, fornece informações sobre as características das fontes, define localização, magnitude, frequência, duração e contribuição relativa das emissões (IBGE, 2006).

O Quadro 2 apresenta alguns estudos cujo objetivo principal era análise de inventário de emissões.

Quadro 2 - Levantamento de Estudo de Análises de Inventários de Emissões

Título da pesquisa	Autor	Objetivo	Link
PRIMEIRO INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS POR VEÍCULOS AUTOMOTORES LEVES: ESTUDO DE CASO DA CONTRIBUIÇÃO DA COMUNIDADE DA UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CÂMPUS LONDRINA – PR	BABINSKI, B. L.	Realizar o primeiro inventário de emissões atmosféricas por veículos automotores leves dentro da comunidade da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, localizada em Londrina por meio do cálculo das contribuições de emissões atmosféricas devido ao trajeto rotineiro dos discentes e servidores da Universidade	http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/12089
ESTIMATIVA DAS	ALMEIDA,	Estimar as emissões	https://www.brazil

<p>EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA E PROPOSTA DE MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS POR UM EMPREENDIMENTO DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: UM ESTUDO DE CASO.</p>	<p>Francisco Thiago Rodrigues; DE SOUZA GUIMARÃES, Claudinei;</p>	<p>de gases de efeito estufa (GEE) e propor estratégias de redução dos impactos ambientais para um empreendimento de geração de energia elétrica, a partir do uso de gás natural</p>	<p>ianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/12304</p>
<p>INVENTÁRIO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DE MP2,5 E BC ORIUNDAS D ACOMBUSTÃO EM LONDRINA, PARANÁ</p>	<p>FANDIÑO, Isabella Charres et al.</p>	<p>Quantificar as emissões de MP2,5 e BC emitidas para a atmosfera por processos de combustão no município de Londrina, desenvolvendo uma metodologia para as diferentes fontes de emissão.</p>	<p>http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4905</p>
<p>INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS DE CINCO LAVANDERIAS INDUSTRIAIS DO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO NEPOMUCENO (MG)</p>	<p>FERREIRA, Kamila Stefanie de Oliveira; RIBEIRO, Christian Ricardo.</p>	<p>Inventariar as emissões de poluentes atmosféricos de cinco lavanderias industriais localizadas no Município de São João Nepomuceno (MG).</p>	<p>https://dspace.doctum.edu.br/handle/123456789/2547</p>
<p>ANÁLISE DO PERFIL DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DO SETOR INDUSTRIAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO</p>	<p>COSTA, Isabela Angelloti et al.</p>	<p>Analisar o perfil de emissões atmosféricas no estado do Rio de Janeiro provenientes das fontes fixas industriais, tomando como base os dados do INEA, de forma a verificar se os resultados acompanham os dados dos demais documentos, analisar suas divergências e indicar caminhos particulares ao perfil de emissões do</p>	<p>https://app.uff.br/riuff/handle/1/23356</p>

		estado, que possam ser adotadas como possíveis estratégias de melhor o monitoramento e/ou a redução das emissões.	
INVENTÁRIO DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS VEICULARES DOS ESTADOS BRASILEIROS	LIMA, João Victor Abreu de.	Desenvolver o inventário dos poluentes atmosféricos provenientes de fontes móveis, no setor automobilístico, na categoria de veículos leves e pesados, no Brasil	https://repositorio.unipampa.edu.br/handle/riu/3030
X-027 – EMISSÕES ATMOSFÉRICAS ORIGINADAS PELA QUEIMA DE BIOMASSA NAS REGIÕES DO ESTADO DE SANTA CATARINA EM 2016	TEIXEIRA, Nathan Campos; HOINASKI, Leonardo; CHAFFE, Pedro Luiz Borges.	Realizar um levantamento qualitativo das emissões de poluentes atmosféricos originados pela queima de biomassa nas regiões do estado de Santa Catarina, por meio do Fire Inventory From NCAR (FINN). Também é avaliada a variação espacial e temporal das emissões durante o ano de 2016.	https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento45/TrabalhosCompletosPDF/X-027.pdf
INVENTÁRIOS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA REFERENTES AOS ANOS DE 2019 E 2020 DA UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - CAMPUS CAMPO MOURÃO	TOMÉ, Júlio Diógenes Schuquel.	Elaborar inventários de emissões de gases de efeito estufa referentes aos anos de 2019 e 2020 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Campo Mourão.	http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/26897
INVENTÁRIO DE EMISSÕES VEICULARES NO BRASIL: BRAZILIAN VEHICULAR EMISSION INVENTORY SOFTWARE-BRAVES.	VASQUES, Thiago Vieira et al.	Elaborar um software para estimar e desagregar espacialmente as emissões veiculares no Brasil.	https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/229823
VI-081 - INVENTÁRIO CORPORATIVO DE	DE FREITAS, Vanessa	Realizar o inventário corporativo de gases	https://abesnacional.com.br/XP/XP

GASES DE EFEITO ESTUFA E MEDIDAS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA: ESTUDO DE CASO NO SETOR MOVELEIRO	rodrigues; SALOMON, Karina Ribeiro; FERREIRA, Ivete Vasconcelos Lopes.	de efeito estufa, seguindo as diretrizes do Programa Brasileiro GHG Protocol, assim como, elaborar um Plano de gestão ambiental para uma fábrica composto por uma fábrica e uma loja.do setor moveleiro.	- EasyArtigos/Site/Uploads/Evento36/TrabalhosCompletoPDF/VI-081.pdf
--------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------

Fonte: Autora, 2022

A partir do Quadro 2, é possível verificar que os inventários de emissões têm aplicação em diversos setores industriais, principalmente relacionadas ao setor energético. Contudo, das termoelétricas da Eletrobras não foram encontrados outros estudos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Capítulo destinado a apresentar os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento desta pesquisa.

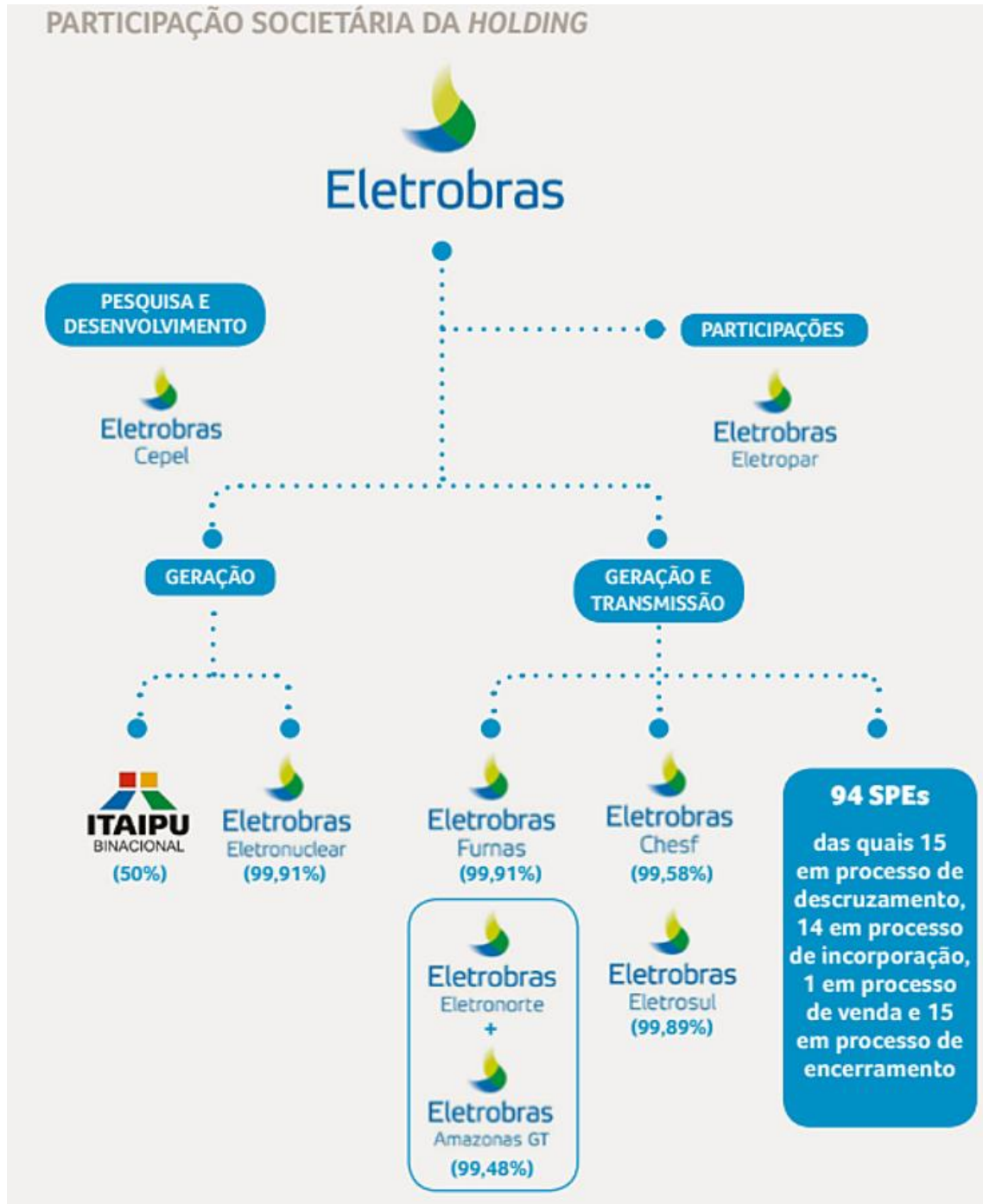
3.1 Descrição das Empresas do grupo Eletrobras

Segundo informações contidas no site da Eletrobras, em 1954, o presidente Getúlio Vargas propôs a criação da Centrais Elétricas Brasileiras S.A (Eletrobrás). Porém, só em 1961, o presidente Jânio Quadros assinou a Lei 3.890-A, que autorizou a União a constituir a empresa.

O propósito é o desenvolvimento sustentável da sociedade, mantendo respeito às pessoas e à vida, ética e transparência, excelência e inovação. Visando ser uma empresa inovadora de energia limpa, reconhecida pela excelência e sustentabilidade (ELETROBRAS, 2020).

Segundo o relatório anual de 2020, a Eletrobras está estruturada como *holding*, sendo sócia controladora de outras companhias. No Brasil, é acionista principal de seis subsidiárias de geração e transmissão de energia: Eletronuclear, Furnas, Eletropar, Chesf, Eletronorte e Eletrosul; detém 50% do capital da Itaipu Nacional; é a principal patrocinadora do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel); e tem participação em 94 Sociedades de Propósito Específico (SPE), um modelo jurídico de empresa com finalidade restrita de executar atividades e prazos previamente determinados. Um fluxograma da participação societária é mostrado na Figura 13.

Figura 13 - Participação societária da Eletrobras



Fonte: Inventário de Emissões de GEE publicado pela Eletrobras, ano base 2016

3.2 Caracterização da CGT Eletrosul

Geradora e transmissora de energia, a Companhia de Geração e Transmissão de Energia Elétrica do Sul do Brasil (CGT Eletrosul), é o resultado da reestruturação que unificou duas subsidiárias da Eletrobras na região, Eletrobras e

CGTEE. Esse processo iniciou em 2017, mas foi concluído somente em janeiro de 2020 (CGTE ELETROSUL, s.d).

A Figura 14, apresenta a Termelétrica Candiota III (Fase C). Em janeiro de 2011, iniciou-se a operação comercial na UTE, com capacidade instalada de 350 MW de geração. O carvão mineral, combustível que alimenta o complexo, é abundante na região. Em 2019, foi realizada uma reforma na usina, a fim de garantir uma eficiência ainda maior ao empreendimento (CGTE ELETROSUL, s.d.).

Figura 14 - Termelétrica Candiota III (Fase C)



Fonte: Imagem retirada do site da CGTE Eletrosul (s.d)

Candiota, cidade gaúcha, situada na região da campanha/Pampa gaúcho, a 387,4km de Porto Alegre (PREFEITURA MUNICIPAL DE CANDIOTA, s.d.). As Figuras 15 e 16, apresentam respectivamente, no mapa onde está localizado o estado brasileiro do Rio Grande do Sul e no mapa do estado onde está localizada a cidade de Candiota.

O município possui uma jazida de carvão mineral, que possui propriedades ideais para a geração de energia termoelétricas. A reserva de carvão mineral da jazida é de 1.419,41 ton (10^6) (CRM, s.d.). A Tabela 5 apresenta as características do carvão presente na jazida.

Figura 15 - Estado do Rio Grande do Sul



Fonte: Site da Prefeitura Municipal de Candiota

Figura 16 - Cidade de Candiota



Fonte: Site da Prefeitura Municipal de Candiota

Tabela 5 - Características do Carvão da Jazida de Candiota

Características do Carvão	Teores Médios do Carvão ROM (%)
Umidade Total	16,00
Cinzas (b.s)	52,70
Material Volátil (b.s)	21,20
Carbono Fixo (b.s)	26,10
Enxofre Total (b.s)	1,30
Poder Calorífico Específico (b.s)	3.262

Valores em b.s. base seca

Fonte: CRM, s.d.

A Figura 17 apresenta a mina de Candiota, empreendimento da Companhia Riograndense de Mineração (CRM), empresa de economia mista que é controlada pelo governo estadual gaúcho. É a maior jazida de carvão mineral do Brasil, minerada a céu aberto com 50 m de profundidade (CRM, s.d.).

Figura 17 - Mina de Candiota - Regeneração Topográfica e revegetação

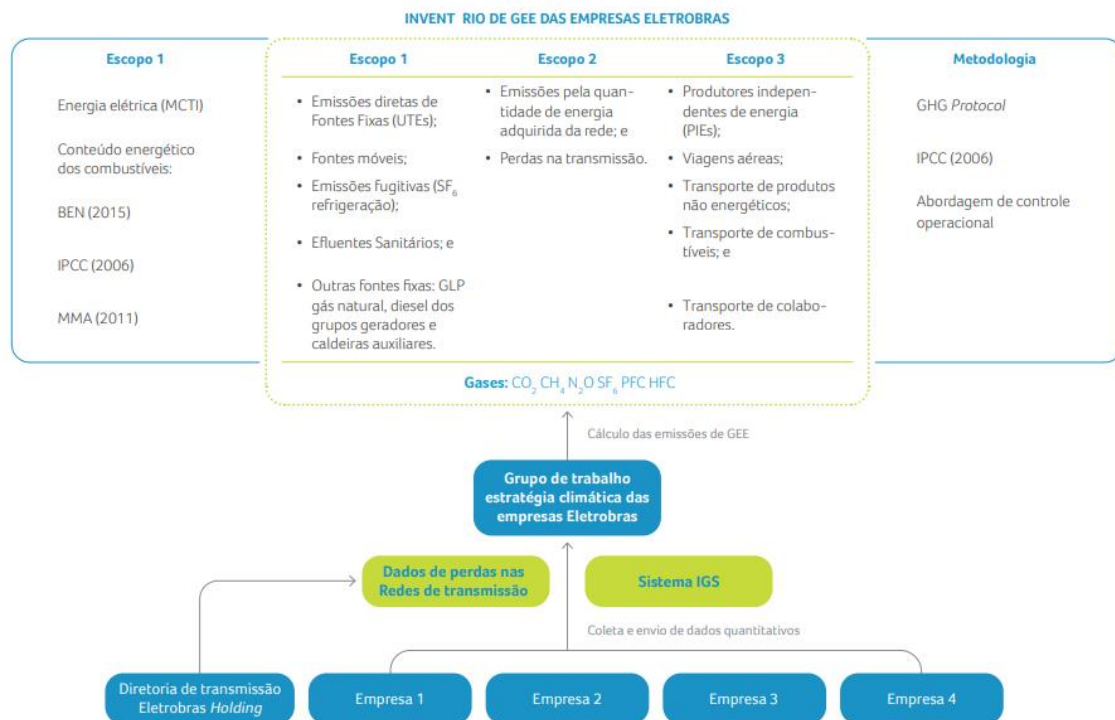


Fonte: CRM, s.d.

3.3 Aquisição de dados para elaboração do inventário

As emissões foram registradas no inventário de acordo os três escopos, os quais, em síntese, consistem em emissões diretas (escopo 1), emissões indiretas relacionadas apenas ao consumo ou energia de rede (escopo 2) e emissões indiretas relacionadas a geração de energia de produtores independentes adquirida pelas concessionárias da Eletrobrás (escopo 3). A Figura 18 mostra um fluxograma do processo de elaboração do Inventário de GEE das empresas Eletrobrás, seu escopo, estrutura geral e fontes inventariadas.

Figura 18 - Processo de Elaboração do Inventário de Emissões de GEE

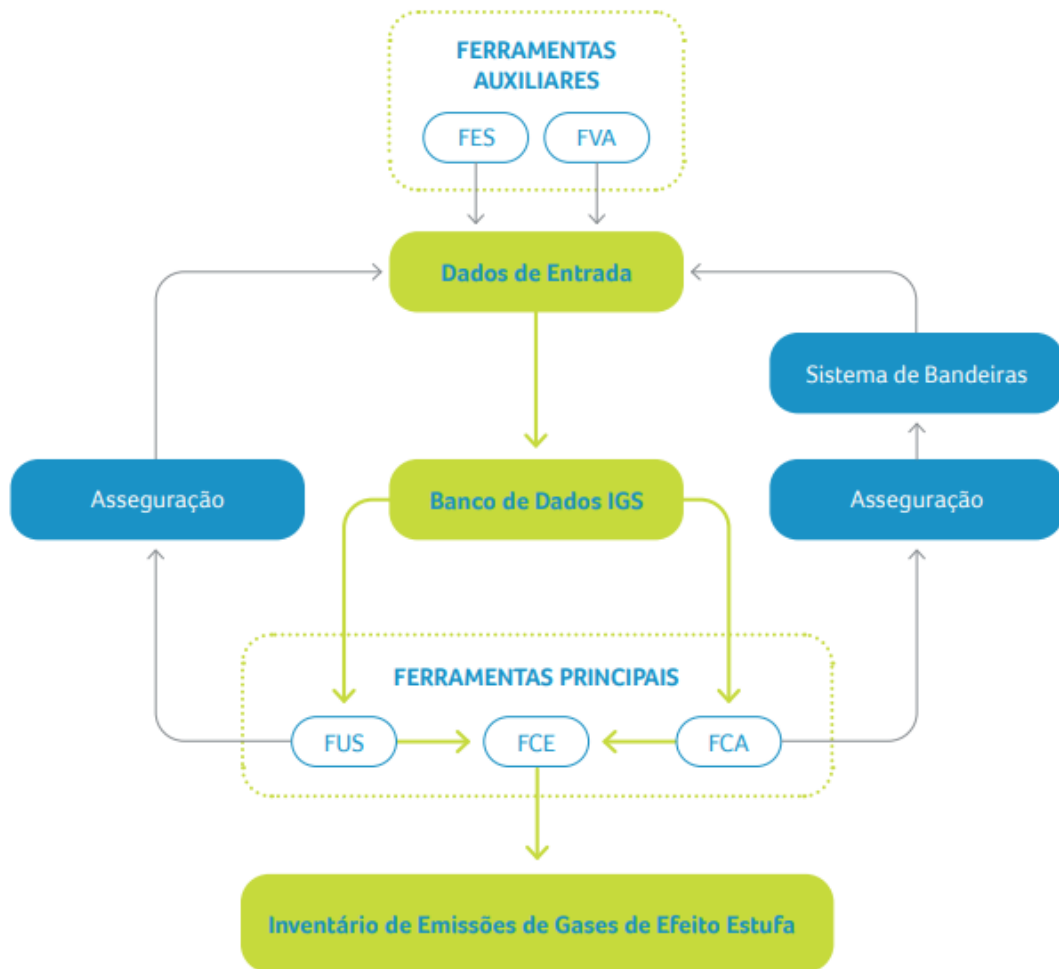


Fonte: Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa Eletrobrás, ano base 2020

Para elaboração dos inventários, anualmente, em cada subsidiária da Eletrobrás, as informações são coletadas por colaboradores responsáveis sob supervisão do Grupo de Trabalho Estratégia Climática (GT3), definido pelo Comitê de Meio Ambiente das Empresas Eletrobrás - CMA. Os dados são verificados e validados através da plataforma Emisfera, onde é realizado também o processamento e os cálculos das emissões de GEE. Desenvolvido pelo CEPEL. A Emisfera é um conjunto de ferramentas computacionais destinado para este fim. A

plataforma possui três ferramentas principais, Ferramenta de Coleta e Análise (FCA) onde é realizado a importação de dados bem como a análise e consistência dos mesmos e o processamento prévio para o cálculo de emissões. Já a Ferramenta de Cálculo de Emissões realiza o cálculo e disposição das emissões integral ou de forma resumida. Por fim, a Ferramenta de Estimativa de Emissões em Atividades de Uso do Solo (FUS). A partir de 2016, a plataforma Emisfera obteve maior confiabilidade, já que todos os valores de entrada para o cálculo de emissões passaram a ser alinhados com o banco de dados do Sistema Indicadores de Gestão da Sustentabilidade (IGS). As metodologias utilizadas são o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas 2006 (IPCC) e Greenhouse Gas Protocol - GHG Protocol² (WRI, 2004). No que tange o cálculo das emissões destinadas do consumo elétrico são utilizados os fatores de emissão do Sistema Interligado Nacional (SIN) publicados pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). No caso de emissões devido a perdas no processo de transmissão da energia elétrica o cálculo é com base nas informações disponibilizadas pela Diretoria de Transmissão da Eletrobras Holding. Para o escopo 2, considera-se duas abordagens: uma com base na localização, chamada de *location based*, e uma com base na escolha de compra, chamada *market based* (INVENTÁRIO, ano base 2021). A Figura 19, apresenta o processo de aquisição de dados.

Figura 19 - Processo de aquisição de dados para elaboração do inventário de emissões de GEE



Fonte: Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa Eletrobras, ano base 2020

A partir dos inventários dos anos de 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021, disponíveis em: Gestão Ambiental CGTE, analisou-se a variação das emissões dos GEE da CGTEletrosul.

As emissões de GEE são expressas em função da unidade de CO_{2e} (dióxido de carbono equivalente). A conversão é baseada no critério GWP (*Global Warming Power*), que utiliza um fator de ponderação para se chegar à unidade comum, o CO_{2e}. A Tabela 6 mostra os fatores de ponderação de GWP para conversão de GEE em CO_{2e}.

Tabela 6 - Fatores de ponderação GWP para conversão de GEE em CO_{2e}

Gás	Símbolo	GWP
Dióxido de Carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	28
Hidrofluorcarbonos	HFC-23	12400
	HFC-125	3170
	HFC-134 _a	1300
	HFC-143 _a	4800
	HFC-152 _a	138
Perfluorcarbonos	CF ₄	6630
	C ₂ F ₆	11100
Óxido Nitroso	N ₂ O	265
Hexafluoreto de Enxofre	SF ₆	23500

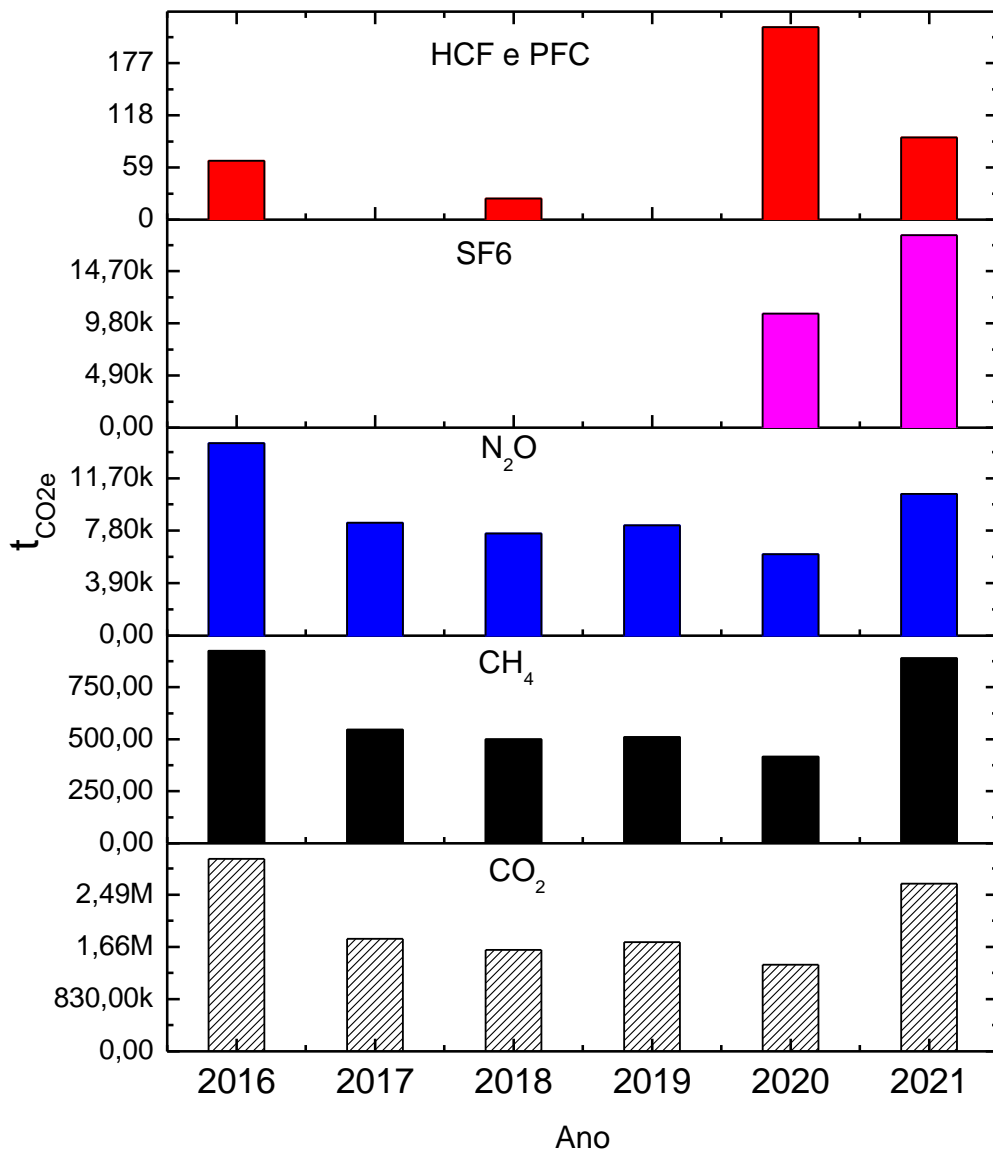
Fonte: IPCC (2014)

Considerou-se ainda o fator de emissão que tem o objetivo de estimar a quantidade de CO₂ associada a uma geração de energia elétrica conforme a publicação do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) quanto aos fatores de emissão para a matriz elétrica brasileira (MCTI,2022).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar as emissões de CO_{2e}, considerou-se os dados dos inventários de 2016 a 2021. Na Figura 20 são mostradas graficamente as emissões de: HCF e PFC; SF₆; N₂O; CO₂ e CH₄, respectivamente.

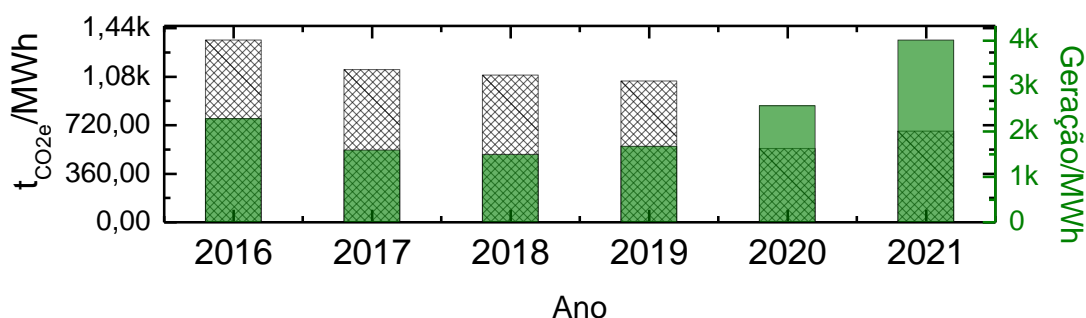
Figura 20 - Emissões de GEE no período de 2016 a 2021 na CGT Eletrosul



Fonte: Autora, 2022

Na Figura 21 é mostrada a relação entre o total de CO_{2e} e a produção líquida de energia elétrica.

Figura 21 – Emissões totais de CO_{2e} e geração de energia entre 2016 e 2021 na CGT Eletrosul



Fonte: Autora, 2022

Com base nos resultados mostrados nas Figuras 20 e 21, ratifica-se o crescimento da geração termoeletrica em 2021 consequência do acionamento da termoeletricidade como forma complementar a hidroeletrica devido à crise hídrica afetou as emissões de GEE. Contudo, analisando-se a sobreposição dos gráficos de geração e emissões (Figura 21), percebe-se que não há proporcionalidade entre a geração e o CO_{2e}. Salienta-se a significativa redução de CO_{2e} de aproximadamente 48% entre 2019 e 2020 apesar do aumento de 35% na geração de energia. De acordo com o Inventário Ambiental ano base 2020 da CGT Eletrosul, o fator que mais contribuiu para esta redução foi uma parada não prevista do conjunto de turbina e gerador da UTE para manutenção e a entrada em operação, em março de 2020, da planta de beneficiamento do carvão mineral a seco, a qual repercutiu no controle de emissões. Os resultados obtidos com a instalação deste sistema foram significativos, reduzindo as emissões proporcionais por MWh. Além disso, iniciou em 2020 um projeto experimental de “compensação de emissões” o qual visa, através do plantio de árvores, captar o CO₂ juntamente com os sistemas de controle de emissões.

Ainda segundo o documento supracitado, a CGT Eletrosul, desde 2020, segue indicadores da ODS, o qual objetiva, em síntese, adotar um modelo de desenvolvimento sustentável até 2030. Dentre os indicadores, está a redução anual de 1 tCO_{2e}/MWh. Conforme os resultados apresentados nos inventários e analisados

neste trabalho, no primeiro ano a meta não foi atingida uma vez que o que se observou foi um aumento de 128,46 tCO_{2e}/MWh (+19%) de 2020 para 2021 (INVENTÁRIO AMBIENTAL, 2020).

As termoelétricas possuem um papel significativo na geração de energia elétrica pois, atualmente, são as maiores responsáveis por complementar o *déficit* de energia das hidroelétricas, quando estas passam por momentos de baixa de produção, como em períodos de estiagens. Contudo, mesmo com os esforços das empresas do setor em reduzir as emissões, as metas não estão sendo atingidas. Dessa forma, tem-se como alternativa para esse cenário a diversificação da matriz energética no sentido de contribuir para redução no fator de emissão de GEE. Pode-se inferir que, investir em cogeração, energias renováveis e em fontes combustíveis alternativas ajuda a melhorar a segurança do sistema elétrico e aumentar a participação de energias renováveis na matriz, minimizando as consequências do efeito estufa.

5 CONCLUSÕES

Com base nos objetivos propostos conclui-se que:

Os inventários são uma ferramenta útil para analisar qualitativamente e quantitativamente os cenários de emissões.

Houve redução de CO₂e de aproximadamente 48% entre 2019 e 2020 apesar do aumento de 35% na geração de energia.

O acionamento da termoeletricidade como forma complementar a hidroelétrica devido à crise hídrica afetou as emissões de GEE em 2021.

A meta de redução anual de 1 tCO₂e/MWh não foi atingida.

A diversificação da matriz elétrica pode contribuir para redução de emissões de CO₂e.

REFERÊNCIAS

BARBIERI, José Carlos. **Gestão ambiental empresarial**. Saraiva Educação SA, 2017.

BEN, Balanço Energético Nacional. EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf>. Acesso em: 21 jul 2022.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Institui a Política Nacional do Meio Ambiente**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 18 mai 2022.

BRITO, Marina Menezes de. **Redução catalítica seletiva de óxido nítrico por amônia sobre catalisadores de ferro e titânio**. Salvador, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufba.br/handle/ri/19114> >. Acesso em: 19 jun 2022.

CGTE ELETROSUL. Disponível em: <https://www.cgteletrosul.gov.br/nosso-negocio/geracao/candiota>. Acesso em: 16 jun 2022.

CONAMA, Resolução nº 491, de 19 de Novembro de 2018, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-**CONAMA**; “Dispõe sobre padrões de qualidade do ar”; publicada no Diário Oficial da União em 21/11/2018; Brasília, DF. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/padrees-de-qualidade-do-ar.html>>. Acesso em: 09 jul 2022.

CRM, Companhia Riograndense de Mineração. Disponível em: <http://www2.crm.rs.gov.br/hypervisual/carvao/carvao_candiota.php?secao=carvao >. Acesso em 07 ago 2022.

DA COSTA SILVA, Robson Willians; DE PAULA, Beatriz Lima. **Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural**. Terra e Didática, v. 5, n. 1, p.

42-49, 2009. Disponível em : <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/td/article/view/8637501>>. Acesso em : 09 jul 2022.

DA SILVA SANTOS, Arantxa Carla; PONTES, Altem Nascimento. **Emissões de gases de efeito estufa e mudanças climáticas no estado do Pará.** Educamazônia-Educação, Sociedade e Meio Ambiente, v. 15, n. 1, jan-jun, p. 87-105, 2022.

DOS SANTOS, Edvan Casagrande et al. **Estudo de caso da influência da poluição atmosférica na qualidade do ar em uma unidade de conservação.** VII Congresso brasileiro de geógrafos, 2014.

EPE. **Matriz Energética e Elétrica.** 2021. Disponível em : <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em : 09 jul 2022.

ESFERA, Energia. **Tudo sobre usina termelétrica: o que é, como funciona, vantagens e desvantagens.** Junho, 2021. Disponível em: <<https://esferaenergia.com.br/blog/usina-termeletrica/>>. Acesso em 06 jun 2022.

FUCCI, Victor Hugo. **Estudo de caso sobre o Registro Público Estadual de Emissões de Gases de Efeito Estufa no estado do Paraná.** Curitiba, 2016. Disponível em: < <https://www.acervodigital.ufpr.br/handle/1884/52343>>. Acesso em: 09 jul 2022.

GALILEU, Redação. **Terra pode ser planeta totalmente diferente e caótico em 2500, diz estudo.** Galileu, outubro 2021. Disponível em: < <https://revistagalileu.globo.com/Um-So-Planeta/noticia/2021/10/terra-pode-ser-planeta-totalmente-diferente-e-caotico-em-2500-diz-estudo.html>>. Acesso em: 18 mai 2022.

GESTÃO ambiental ELETROBRAS. Disponível em: <
[**GESTÃO ambiental ELETROSUL.** Disponível em <
\[**IBGE. II Encontro Nacional de Produtores e Usuários de Informações Sociais, Econômicas e Territoriais.** Rio de Janeiro, 21 a 25 de agosto de 2006. Disponível em: <
\\[https://www.ibge.gov.br/confest_e_confega/pesquisa_trabalhos/arquivosPDF/M548_03.pdf\\]\\(https://www.ibge.gov.br/confest_e_confega/pesquisa_trabalhos/arquivosPDF/M548_03.pdf\\)>. Acesso em: 18 jun 2022.\]\(https://www.cgteletrosul.gov.br/sustentabilidade/gestao-ambiental/gestao-ambiental#:~:text=A%20CGT%20Eletrosul%20se%20empenha,mundo%20melhor%20%C3%A0s%20pr%C3%B3ximas%20gera%C3%A7%C3%B5es.&text=A%20Pol%C3%ADtica%20Ambiental%20das%20Empresas,com%20os%20princ%C3%ADpios%20da%20sustentabilidade.> https://www.cgteletrosul.gov.br/sustentabilidade/gestao-ambiental/gestao-ambiental#:~:text=A%20CGT%20Eletrosul%20se%20empenha,mundo%20melhor%20%C3%A0s%20pr%C3%B3ximas%20gera%C3%A7%C3%B5es.&text=A%20Pol%C3%ADtica%20Ambiental%20das%20Empresas,com%20os%20princ%C3%ADpios%20da%20sustentabilidade.>. Acesso em: 19 jun 2022.</p>
</div>
<div data-bbox=\)](https://eletrobras.com/pt/Paginas/Gestao-Ambiental.aspx#:~:text=Nosso%20sistema%20de%20gest%C3%A3o%20ambiental,Sistema%20IGS)%20%E2%80%93%20Dimens%C3%A3o%20Ambiental.> https://eletrobras.com/pt/Paginas/Gestao-Ambiental.aspx#:~:text=Nosso%20sistema%20de%20gest%C3%A3o%20ambiental,Sistema%20IGS)%20%E2%80%93%20Dimens%C3%A3o%20Ambiental.>. Acesso em: 19 jun 2022.</p>
</div>
<div data-bbox=)

IEMA. Crise hídrica, termelétrica e renováveis. 2021. Disponível em: <
<http://energiaeambiente.org.br/produto/crise-hidrica-termeletricas-e-renovaveis>>. Acesso em: 09 jul 2022.

LEITE, Vinicius Pazini; DEBONE, Daniela; MIRAGLIA, Simone Georges El Khouri. **Emissões de gases de efeito estufa no estado de São Paulo:** análise do setor de transportes e impactos na saúde. VITTALLE-Revista de Ciências da Saúde, v. 32, n. 3, p. 143-153, 2020. Disponível em: <
<https://periodicos.furg.br/vittalle/article/view/12220>>. Acesso em: 09 jul 2022.

LYON, Chistopher et al. **Pesquisa e ação sobre mudanças climáticas devem olhar além de 2100.** Global Change Biology, v 28, 2, p. (349-361), setembro, 2021. Disponível em: < <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.15871>>. Acesso em: 09 jul 2022.

MORAES, M.R. W, Franciele. **Levantamento do Potencial Eólico na Região de Bagé com o modelo WRF da Unipampa**. 2010.

MOURA, José David Ferreira. **Aumento da eficácia na geração de energia elétrica proveniente dos parques eólicos em decorrência da crise hídrica no Brasil**. Revista Valore, v. 7, p. 111-120, 2022.

OECD. **O que é o Efeito Estufa**. 2013. Disponível em: <[https://oeco.org.br/dicionario-ambiental/27698-o-que-e-o-efeito-estufa/#:~:text=O%20efeito%20estufa%20%C3%A9%20pois,\(cerca%20de%2018%C2%BAC%20negativos\).](https://oeco.org.br/dicionario-ambiental/27698-o-que-e-o-efeito-estufa/#:~:text=O%20efeito%20estufa%20%C3%A9%20pois,(cerca%20de%2018%C2%BAC%20negativos).>)>. Acesso em: 18 mai 2022.

PODER, 360. **“Em meio à crise hídrica, Brasil tem recorde de geração de energia térmica”**. Outubro, 2021. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/brasil/em-meio-a-crise-hidrica-brasil-tem-recorde-de-geracao-de-energia-termica/>. Acesso em: 06 jun 2022.

PREFEITURA Municipal de Candiota. Disponível em: <<https://www.candiota.rs.gov.br/localizacao-e-distancias/>>. Acesso em: 07 ago 2022.

REICHARDT, KlauS. TIMM, Luís Carlos. **Água e sustentabilidade no sistema solo planta atmosfera**. Barueri, SP : Manole, 2016.

RENAN BESEN, Marcos et al. **Práticas conservacionistas do solo e emissão de gases do efeito estufa no Brasil**. Scientia Agropecuaria, v. 9, n. 3, p. 429-439, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172018000300015>. Acesso em: 09 jul 2022.

RICHTER, Burton. Além da Fumaça e dos Espelhos: **Mudança Climática e Energia no Século XXI**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

RICHTER, Marc François; DE LARA, Daniela Mueller; ANDREAZZA, Ricardo de Carly Luz. **Educação Ambiental e Gases do Efeito Estufa (GEE):** uma abordagem do papel do metano para Educação Básica. Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA), v. 16, n. 5, p. 431-445, 2021.

RIO GRANDE DO SUL. Lei nº 11.520, de 03 de agosto de 2000. **Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências.** Disponível em:

<https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Lei/2000/lei_11520_2000_instituicodigoestadualmeioambiente_rs_regulamentada_dec_46519_2009.pdf>.

Acesso em: 22 mai 2022.

SALIBA, Dantte. **Publicada nova resolução do CONAMA para Padrões de Qualidade do Ar.** Trilho Ambiental, 2018. Disponível em : <

<https://www.trilhoambiental.org/post/2018/12/03/publicada-nova-resolu-25c3-25a7-25c3-25a3o-do-conama-para-padr-25c3-25b5es-de-qualidade-d>>. Acesso em : 09 jul

2022.

SANTOS, Benilda do Rêgo; ALMEIDA, Moisés Albuquerque de. **Avaliação do sistema de gestão e monitoramento de emissões atmosféricas da UTE Santana-AP/Brasil.** 2013.

TERMELÉTRICA Candiota bate recorde de geração em 2021 : Usina registrou maior geração média anual desde entrada em operação. Revista Amanhã, janeiro, 2022. Disponível em : <<https://amanha.com.br/categoria/empresa/termelétrica-candiota-bate-recorde-de-geracao-em-2021>>. Acesso em : 09 jul 2022.

TISSOT, Rita. **Estudo da dispersão de material particulado (pts), emitido pela usina termelétrica de Charqueadas.** Dissertação. Especialização. Sensoriamento Remoto Aplicado a Recursos Naturais e do Meio Ambiente. Porto Alegre, 2010. Disponível em:

<https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Lei/2000/lei_11520_2000_instituicodigoestadualmeioambiente_rs_regulamentada_dec_46519_2009.pdf>.

0_instituicodigoestadualmeioambiente_rs_regulamentada_dec_46519_2009.pdf>.

Acesso em 22 mai 2022.

VISCONDI, G. de F.; SILVA, A. F.; CUNHA, K. B. **Geração termoelétrica e emissões atmosféricas: poluentes e sistemas de controle**. São Paulo: IEMA, 2016.

ANEXOS

ESTUDO DE CASO SOBRE AS EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA EM UMA TERMOELÉTRICA DO RS

Vitória da Silva Farias

RESUMO

A crise hídrica além de afetar o abastecimento de água impacta na produção energética uma vez que no Brasil predomina a geração hidrelétrica. Em períodos de estiagem, como no ano de 2021, a produção energética por usinas termoeletricas. As térmicas fósseis são a principal fonte de emissão de gases de efeito estufa (GEE) do setor elétrico brasileiro. Dessa forma, avaliar as implicações da geração termoeletrica nas emissões de poluentes atmosféricos e de GEE são um passo importante na direção de um debate sobre geração elétrica bem como sobre a necessária integração entre as políticas energética e ambiental. Sendo assim, o presente estudo apresenta uma análise das emissões de GEE relacionado à produção termoeletrica de energia. Foram consultados os Inventários de Emissões de Gases do Efeito Estufa das empresas do grupo Eletrobras de 2016 a 2021. Apresentou-se como estudo de caso os dados da Companhia de Geração e Transmissão de Energia Elétrica do Sul do Brasil (CGT Eletrosul), localizada na cidade de Candiota RS. Foi demonstrado que houve redução de emissão de CO_{2e} de aproximadamente 48% entre 2019 e 2020 apesar do aumento de 35% na geração de energia contudo, a meta de redução de emissões não está sendo atingida. Com base nesses aspectos, enfatizou-se a importância da diversificação da matriz elétrica nacional, incluindo fontes combustíveis alternativas e energia renovável para contribuir com o cumprimento das metas de redução de emissões de GEE e atendimento aos objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030.

Palavras-Chave: Termoeletrica. Energia. Gases de Efeito Estufa. Emissões.

ABSTRACT

The water crisis, in addition to affecting the water supply, impacts energy production since hydroelectric generation predominates in Brazil. In periods of drought, as in the year 2021, energy production by thermoelectric plants. Fossil thermal plants are the main source of greenhouse gas (GHG) emissions in the Brazilian electricity sector. Thus, evaluating the implications of thermoelectric generation on atmospheric pollutant and GHG emissions is an important step towards a debate on electric generation as well as on the necessary integration between energy and environmental policies. Therefore, the present study presents an analysis of GHG

emissions related to thermoelectric energy production. The Greenhouse Gas Emission Inventories of the Eletrobras group companies from 2016 to 2021 were consulted. As a case study, data from the Companhia de Geração e Transmissão de Energia Elétrica do Sul do Brasil (CGT Eletrosul), located in the city of Candiota RS, was presented. It was shown that there was a reduction of CO₂e emission of approximately 48% between 2019 and 2020 despite the 35% increase in energy generation, however, the emission reduction target is not being achieved. Based on these aspects, the importance of diversifying the national electricity matrix was emphasized, including alternative fuel sources and renewable energy to contribute to the achievement of the goals of reducing GHG emissions and meeting the Sustainable Development Goals (SDGs) of the 2030 Agenda.

Keywords: Thermoelectric. Energy. Greenhouse Gases. Emissions.

1 INTRODUÇÃO

Ações antrópicas e o aumento da demanda por energia estão entre os fatores responsáveis por diversos impactos sociais. Neste contexto, destacam-se as mudanças climáticas e degradação da qualidade do ar decorrentes do aumento de emissões GEE na atmosfera (LEITE et. al. 2020).

O gás carbônico (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), compreendem os principais GEE's e recebem tal denominação por reterem e redirecionarem a radiação infravermelha em excesso na superfície terrestre. Dessa, forma, é mister que haja avanços em pesquisas técnico-científicas a fim de mitigar as emissões destes poluentes para contribuir com a sustentabilidade do planeta (RENAN BESEN et al., 2018).

No ano de 2021, a crise hídrica afetou a geração de energia elétrica. A principal medida adotada para evitar um apagão energético foi acionar as termelétricas. Como consequência, houve um aumento das emissões de GEE e o consequente aumento dos impactos ambientais. Em contrapartida, o Brasil possui grande potencial de geração de energia renovável tais como a energia solar, eólica e a partir de biomassa (IEMA, 2021).

Para atender os princípios de sustentabilidade ambiental, Eletrobras elabora, anualmente, desde 2008, o “Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa”. O documento sintetiza as emissões de GEE das Empresas do grupo.

A cidade de Candiota, região da Campanha Gaúcha, possui duas Usinas Termoelétrica (UTE's) à carvão mineral em operação. Com isso, o impacto ambiental na região é bastante afetado.

Como exemplo, tem-se a Termelétrica Candiota III Fase C da Companhia de Geração Térmica (CGT) da Eletrosul, no ano de 2021, registrou sua maior geração média anual, desde a entrada em operação comercial, em 2011 (TERMELÉTRICA, 2022). Além disso, com base no inventário do ano base 2021, a CGT Eletrosul foi responsável por 32,5% do total de emissões das empresas do grupo Eletrobras (inventário de 2021).

Com base nos aspectos apresentados, no presente estudo foi realizado um estudo de caso para analisar as emissões de GEE da CGT Eletrosul, a partir da de uma análise dos Inventário de Emissões de 2016 a 2021. Espera-se demonstrar a importância da diversificação da matriz elétrica nacional, incluindo fontes combustíveis alternativas e energia renovável para suprir a demanda de energia em momentos de clima desfavorável e para contribuir com o cumprimento das metas de redução de emissões de GEE e atendimento os objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, que é um Protocolo Internacional, assinado por 193 países, na Assembleia Geral das Organizações das Nações Unidas (ONU), em setembro de 2016, onde o governo brasileiro assumiu o compromisso de adotar um modelo de desenvolvimento sustentável, com metas a serem alcançadas até 2030.

2 DESENVOLVIMENTO

Em 2021, o Brasil enfrentou uma crise hídrica o que fomentou a produção de energia a partir das centrais termoelétricas. Segundo uma matéria publicada no jornal PODER 360 em outubro de 2021:

O Brasil nunca gerou tanta eletricidade em centrais termelétricas como em agosto deste ano. Dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) mostram que 14.143 gigawatts-hora (GWh) foram produzidos no período, 12% a mais que o total registrado no auge da última crise hídrica, em 2015. (PODER 360, 2021)

A crise hídrica de 2021 decorrente da falta de chuvas deixou impactos no balanço energético brasileiro naquele ano, fazendo com que outras fontes de

geração de energia fossem acionadas, principalmente as centrais térmicas. Fato este que gerou impactos na economia, já que a termoeletricidade é uma forma mais cara de geração de energia (MOURA, 2022).

Segundo os dados fornecidos pelo MME – Ministério de Minas e Energias, em maio desse ano a fonte de energia proveniente das águas correspondeu a 71,8% do valor total gerado no país, a geração de energia térmica correspondeu a 17,7%, energia eólica correspondeu a 9,4% e a energia solar em 1,1%. (MOURA, 2022)

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) 2022 publicado pela EPE,

A escassez de chuvas em 2021 provocou uma redução do nível dos reservatórios das principais hidrelétricas do país e a conseqüente redução da oferta de hidreletricidade. Esta queda foi compensada pelo aumento da oferta de outras fontes, como o carvão vapor (+47,2%), gás natural (+46,2%), eólica (+26,7%) e solar fotovoltaica (+55,9%).

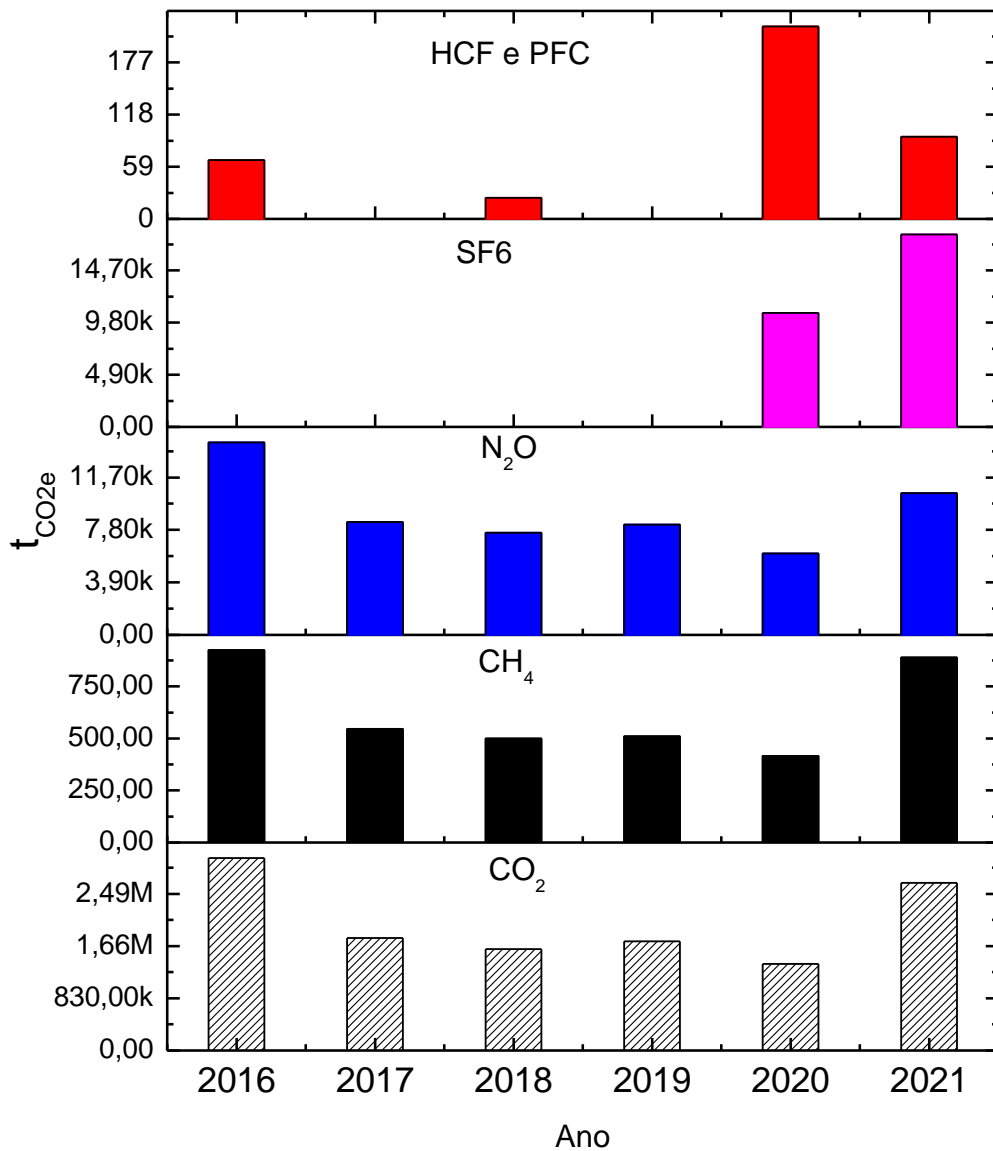
Usinas termelétricas produzem energia a partir da queima de carvão, óleo combustível e gás natural em uma caldeira, ou pela fissão de material radioativo (como o urânio). O maior impacto ambiental produzido pelas termelétricas são os gases, muitos deles de efeito estufa. São produzidos óxidos e dióxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido e dióxido de carbono, outros gases e particulados. (FUCCI, 2016)

Segundo o IBGE, um inventário de emissões de gases é uma listagem atualizada que dispõem as emissões atmosféricas causadas por determinada fonte ou grupo de fontes localizada em uma região geográfica específica em um intervalo de tempo definido (IBGE, 2006).

A partir dos inventários dos anos de 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021, disponíveis em: Gestão Ambiental CGTE, analisou-se a variação das emissões dos GEE da CGTEletrosul.

As emissões de GEE são expressas em função da unidade de CO_{2e} (dióxido de carbono equivalente). A conversão é baseada no critério GWP (*Global Warming Power*), que utiliza um fator de ponderação para se chegar à unidade comum, o CO_{2e}. Para avaliar as emissões de CO_{2e}, considerou-se os dados dos inventários de 2016 a 2021. Na Figura 1 são mostradas graficamente as emissões de: HCF e PFC; SF₆; N₂O; CO₂ e CH₄, respectivamente.

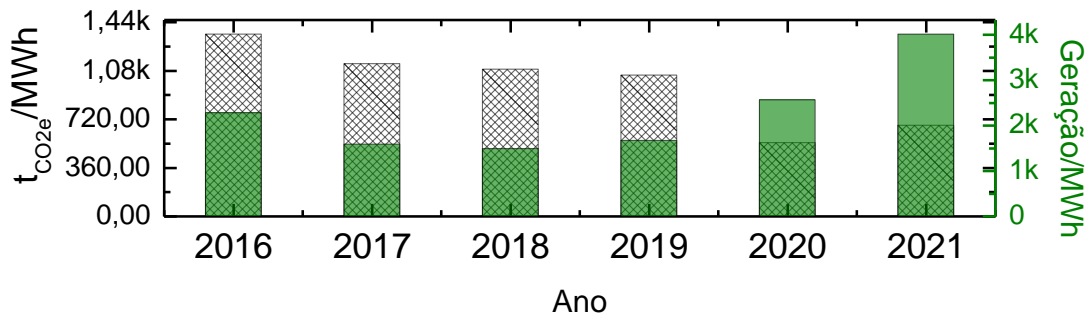
Figura 1 - Emissões de GEE no período de 2016 a 2021 na CGT Eletrosul



Fonte: Autora, 2022.

Na Figura 2 é mostrada a relação entre o total de CO_{2e} e a produção líquida de energia elétrica.

Figura 2 – Emissões totais de CO_{2e} e geração de energia entre 2016 e 2021 na CGT Eletrosul.



Fonte: Autora, 2022.

Com base nos resultados mostrados nas Figuras 1 e 2, ratifica-se o crescimento da geração termoelétrica em 2021 consequência do acionamento da termoeletricidade como forma complementar a hidroelétrica devido à crise hídrica afetou as emissões de GEE. Contudo, analisando-se a sobreposição dos gráficos de geração e emissões (Figura 2), percebe-se que não há proporcionalidade entre a geração e o CO_{2e}. Salieta-se a significativa redução de CO_{2e} de aproximadamente 48% entre 2019 e 2020 apesar do aumento de 35% na geração de energia. De acordo com o Inventário Ambiental ano base 2020 da CGT Eletrosul, o fator que mais contribuiu para esta redução foi uma parada não prevista do conjunto de turbina e gerador da UTE para manutenção e a entrada em operação, em março de 2020, da planta de beneficiamento do carvão mineral a seco, a qual repercutiu no controle de emissões. Os resultados obtidos com a instalação deste sistema foram significativos, reduzindo as emissões proporcionais por MWh. Além disso, iniciou em 2020 um projeto experimental de “compensação de emissões” o qual visa, através do plantio de árvores, captar o CO₂ juntamente com os sistemas de controle de emissões.

Ainda segundo o documento supracitado, a CGT Eletrosul, desde 2020, segue indicadores da ODS, o qual objetiva, em síntese, adotar um modelo de desenvolvimento sustentável até 2030. Dentre os indicadores, está a redução anual de 1 tCO_{2e}/MWh. Conforme os resultados apresentados nos inventários e analisados neste trabalho, no primeiro ano a meta não foi atingida uma vez que o que se observou foi um aumento de 128,46 tCO_{2e}/MWh (+19%) de 2020 para 2021 (INVENTÁRIO AMBIENTAL, 2020).

As termoeletricas possuem um papel significativo na geração de energia elétrica pois, atualmente, são as maiores responsáveis por complementar o *déficit* de energia das hidroelétricas, quando estas passam por momentos de baixa de produção, como em períodos de estiagens. Contudo, mesmo com os esforços das empresas do setor em reduzir as emissões, as metas não estão sendo atingidas. Dessa forma, tem-se como alternativa para esse cenário a diversificação da matriz energética no sentido de contribuir para redução no fator de emissão de GEE. Pode-se inferir que, investir em cogeração, energias renováveis e em fontes combustíveis alternativas ajuda a melhorar a segurança do sistema elétrico e aumentar a participação de energias renováveis na matriz, minimizando as consequências do efeito estufa.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos objetivos propostos conclui-se que:

Os inventários são uma ferramenta útil para analisar qualitativamente e quantitativamente os cenários de emissões.

Houve redução de CO_{2e} de aproximadamente 48% entre 2019 e 2020 apesar do aumento de 35% na geração de energia.

O acionamento da termoeletricidade como forma complementar a hidroelétrica devido à crise hídrica afetou as emissões de GEE em 2021.

A meta de redução anual de 1 tCO_{2e}/MWh não foi atingida.

A diversificação da matriz elétrica pode contribuir para redução de emissões de CO_{2e}.

REFRÊNCIAS

BEN, Balanço Energético Nacional. EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf>. Acesso em: 21 jul 2022.

FUCCI, Victor Hugo. **Estudo de caso sobre o Registro Público Estadual de Emissões de Gases de Efeito Estufa no estado do Paraná.** Curitiba, 2016.

Disponível em: < <https://www.acervodigital.ufpr.br/handle/1884/52343>>. Acesso em: 09 jul 2022.

CGTE ELETROSUL. Disponível em: <https://www.cgteletrosul.gov.br/nosso-negocio/geracao/candiota>. Acesso em: 16 jun 2022.

IBGE. II Encontro Nacional de Produtores e Usuários de Informações Sociais, Econômicas e Territoriais. Rio de Janeiro, 21 a 25 de agosto de 2006. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/confest_e_confega/pesquisa_trabalhos/arquivosPDF/M548_03.pdf>. Acesso em: 18 jun 2022.

IEMA. Crise hídrica, termelétrica e renováveis. 2021. Disponível em: <<http://energiaeambiente.org.br/produto/crise-hidrica-termeletricas-e-renovaveis>>. Acesso em: 09 jul 2022.

LEITE, Vinicius Pazini; DEBONE, Daniela; MIRAGLIA, Simone Georges El Khouri. **Emissões de gases de efeito estufa no estado de São Paulo:** análise do setor de transportes e impactos na saúde. VITTALLE-Revista de Ciências da Saúde, v. 32, n. 3, p. 143-153, 2020. Disponível em: <<https://periodicos.furg.br/vittalle/article/view/12220>>. Acesso em: 09 jul 2022.

MOURA, José David Ferreira. **Aumento da eficácia na geração de energia elétrica proveniente dos parques eólicos em decorrência da crise hídrica no Brasil.** Revista Valore, v. 7, p. 111-120, 2022.

PODER, 360. **“Em meio à crise hídrica, Brasil tem recorde de geração de energia térmica”.** Outubro, 2021. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/brasil/em-meio-a-crise-hidrica-brasil-tem-recorde-de-geracao-de-energia-termica/>. Acesso em: 06 jun 2022.

RENAN BESEN, Marcos et al. **Práticas conservacionistas do solo e emissão de gases do efeito estufa no Brasil.** Scientia Agropecuaria, v. 9, n. 3, p. 429-439,

2018.

Disponível

em:

<http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172018000300015>. Acesso em: 09 jul 2022.