

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

LEANDRO JOSE BARBOSA LIMA

**CAMINHOS PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA
SUSTENTÁVEL NO BRASIL**

**Taubaté - SP
2022**

LEANDRO JOSE BARBOSA LIMA

**CAMINHOS PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA
SUSTENTÁVEL NO BRASIL**

Dissertação apresentada para obtenção do
Título de Mestre pelo curso de Mestrado do
Departamento de Engenharia da Universidade
de Taubaté.

Área de concentração: Projeto Mecânico -
Energias

Orientadora: Profa. Dra. Miroslava Hamzagic

**Taubaté – SP
2022**

Grupo Especial de Tratamento da Informação - GETI
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBi
Universidade de Taubaté - Unitau

L732c Lima, Leandro Jose Barbosa
Caminhos para a transição energética sustentável no Brasil / Leandro
Jose Barbosa Lima. -- 2022.
91 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade de Taubaté, Pró-reitoria de
Pesquisa e Pós-graduação, Taubaté, 2022.

Orientação: Profa. Dra. Miroslava Hamzagic, Departamento de
Engenharia Mecânica.

1. Gases de efeito estufa. 2. Transição energética. 3. Mudanças
climáticas. 4. DMAIC. I. Universidade de Taubaté. Departamento de
Engenharia Mecânica. Mestrado em Engenharia Mecânica. II. Título.

CDD – 363.73874

Ficha catalográfica elaborada por **Shirlei Righeti – CRB-8/6995**

LEANDRO JOSE BARBOSA LIMA

CAMINHOS PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA SUSTENTÁVEL NO BRASIL

Dissertação apresentada para obtenção do Certificado de Mestre pelo Programa de Mestrado do Departamento de Engenharia da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Projeto Mecânico - Energias.

Orientadora: Profa. Dra. Miroslava Hamzagic

DATA: _____

RESULTADO: _____

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Miroslava Hamzagic

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura: _____

Profa. Dra. Valesca Alves Corrêa

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura: _____

Prof. Dr. Cesar Augusto Botura

DCTA - DEPARTAMENTO DE
CIÊNCIA E TECNOLOGIA AEROESPACIAL

Assinatura: _____

Taubaté, 30 de junho de 2022

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe, que apesar de todos os desafios, não desistiu de me dar a vida e sempre apoiou o meu estudo e o meu crescimento e aos meus egrégios avós quem sempre me guiaram para a vitória.

AGRADECIMENTOS

Ao terminar esta pesquisa, muitos são os agradecimentos:

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por cuidar de minha vida e dispor em meu caminho pessoas especiais que sustentaram esta jornada.

A Professora Doutora Miroslava Hamzagic, pela orientação e pela forma humana do trato durante todas as nossas interações; ao Professor Doutor Filipe Wiltgen, que se transformou numa fonte de inspiração pessoal para buscar mais conhecimento e aperfeiçoamento, e ao Engenheiro Ernesto de Azevedo Santos, meu 'Tio', quem despertou a chama da engenharia no meu coração.

Aos membros da banca: Prof. Dr. Cesar Augusto Botura, Profa. Dra. Valesca Alves Correia, pela possibilidade de enriquecer estas fases avaliativas com sugestões e adequações necessárias. Ao professor Doutor Claudio Rabe, pelas importantes contribuições à pesquisa e pelas orientações profissionais ao longo dessa jornada: ele foi a última pessoa com quem conversei antes da decisão de entrar no curso da Universidade de Taubaté.

A minha esposa, Caroline Vizeu Lima, e a minha mãe Elenir Barbosa Lima por incentivar nos momentos difíceis e por inúmeras vezes terem deixado seus afazeres para permitir a continuidade dos meus estudos.

Agradeço a todos os doutores que ministraram as disciplinas no curso de Mestrado, a troca de experiências e pelo prazer e dedicação à carreira, demonstrados nas aulas.

Agradeço de forma especial aos meus egrégios avós José Barbosa Lima e Irene Amaral Lima pela dedicação de suas vidas ao meu desenvolvimento – sem eles eu não seria quem eu sou.

Ao meu filho e amigo António Vizeu Lima, de 5 anos, pela compreensão durante as aulas nos momentos que estivemos estudando para esse curso, seus abraços nos intervalos me deram a coragem para a persistência.

A Universidade de Taubaté na pessoa do Professor Evandro Luis Nohara, e a todos que de forma direta ou indireta me auxiliaram a chegar até aqui.

“Frequentemente afirmo que se pudermos medir aquilo de que falamos e exprimir por números o resultado, conheceu algo sobre o assunto; mas se não o pudermos, nosso conhecimento é deficiente e insatisfatório; pode ser o início de conhecimento, mas teremos em nossos raciocínios alcançado o estágio da ciência, qualquer que seja o assunto”.

(William Thompson – ‘o Lord Kelvin’)

RESUMO

A transição energética é um fenômeno global que não está apenas focada na transformação do setor elétrico, como o nome pode sugerir, mas na necessidade de a humanidade mudar a forma com que liberamos gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. A liberação destes gases está associada ao aquecimento global, mas as emissões também estão associadas a impactos a saúde geral da população, seja por impactos diretos ou impactos indiretos. Diante deste cenário, este trabalho tem como objetivo apresentar e analisar as melhores oportunidades para realizar a transição energética no Brasil, reduzindo assim as emissões de gases de efeito estufa. Para este trabalho foi realizado um estudo com abordagem quantitativa e qualitativa, com base no material bibliográfico disponível por institutos de pesquisa internacionais e por outras fontes científicas. Para analisar e definir qual a melhor oportunidade para a transição energética, entender os problemas e as melhores ações a serem tomadas, foram utilizadas ferramentas técnicas conhecidas como a Análise de Pareto, a Regressão, as Forças de Porter, SWOT e o DMAIC. O uso destas metodologias técnicas permitiu entender quais ações, atualmente em andamento, apontam para a melhor solução e quais ainda precisam ganhar velocidade. As ações adicionais, que precisam ser tomadas para acelerar o processo de transição no Brasil, também puderam ser vislumbradas, não apenas para atingir metas de redução de gases de efeito estufa, mas para contribuir com a redução a nível global, auxiliando o país a se beneficiar com isto.

Palavras-chave: Gases de Efeito Estufa, Transição Energética, Mudanças Climáticas, Brasil, *DMAIC*.

ABSTRACT

The Energy Transition is a global phenomenon that is not Only focused on the transformation of the electrical sector, as its nomenclature might imply, but it is looking at the need of mankind to change the way of Green House Gases (GHG) releases into atmosphere. The release of GHG is associated with Global Warming, but it is also related to impact on the population health directly or indirectly. In this condition, this work has the objective to present and analyze the best opportunities to realize the energy transition in Brazil, reducing its GHG emissions. This study has taken a quantitative and qualitative method based on bibliographic content available from national and international research institutes and by other scientific sources. To analyze and define the best approach for the energy transition known technical tools were used such as Pareto Diagram, Regression, the Porter's Competitive Force, SWOT and DMAIC. The usage of these technical methods enabled the understanding the actions, currently in use, pointed the best solutions and what still need to gain speed. The additional actions, that still need to be taken to speed up the energy transition in Brazil could also be identified, not only to meet the GHG reduction for Brazil, but to contribute to the global GHG reduction, enabling economic benefits to Brazil.

Keywords: Greenhouse Gases, Energy Transition, Climate Changes, Brazil, DMAIC.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Análise de Regressão realizada no Minitab utilizando dados do SEEG de 1990 a 2019.....	56
Figura 2 - Análise de Regressão realizada no Minitab utilizando dados do SEEG de 1990 a 2019.....	57
Figura 3 – Análise de Regressão realizada no Minitab utilizando dados do SEEG de 1990 a 2019.....	58
Figura 4 - Análise de Regressão realizada no Minitab utilizando dados do SEEG de 1990 a 2019.....	59
Figura 5 – Análise de Regressão realizada no Minitab utilizando dados do SEEG de 1990 a 2019.....	60
Figura 6 - Análise de Regressão realizada no Minitab utilizando dados do SEEG de 1990 a 2019.....	61
Figura 7 - Análise de Regressão realizada no Minitab utilizando dados do SEEG de 1990 a 2019 comparando as emissões com o desmatamento.....	62
Figura 8 - Áreas de plantio de cana de açúcar no Brasil.....	63
Figura 9 - Análise de Regressão realizada no Minitab comparando dados do SEEG de emissões de GEE com dados da IEA de emissões de CO ₂ , ambos para o segmento de transporte.....	65
Figura 10 - Análise de Regressão realizada no Minitab utilizando dados do SEEG de 1990 a 2019.....	70
Figura 11 - Análise de Regressão realizada no Minitab comparando dados do SEEG de emissões de GEE das categorias Saneamento Básico e Resíduos, 1990 a 2020	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de emissões de CO2 em Mt por País/Região.....	25
Tabela 2 - Redução e Aumento das emissões de CO2.....	25
Tabela 3 - Emissões Brutas de Gases de Efeito Estufa, Brasil.....	29
Tabela 4 - Emissões Brutas de Gases de Efeito Estufa por Município, Brasil.....	29
Tabela 5 – Comparação de emissões de diferentes veículos a cada 100km.....	33
Tabela 6 – Composição percentual de biocombustíveis no diesel e na gasolina, considerados os percentuais mínimos estabelecidos por lei.....	52
Tabela 7 - Emissões Brasileiras no transporte, comparação de dados IEA (CO2) com SEEG (Gases de Efeito Estufa – GEE) em MtCO2e.....	65
Tabela 8- Comparação de emissões de diferentes veículos a cada 100km.....	72
Tabela 9 - Matriz de SWOT Políticas Públicas e Legislação.....	76
Tabela 10 - Matriz de SWOT da posição do Brasil frente a transição energética.....	77
Tabela 11 - Cinco Forças de Porter focadas no Brasil como fornecedor de créditos de carbono global.....	78

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1– Percentual das Emissões de CO ₂ por País/Região sobre o total de emissões Globais em 2019.....	24
Gráfico 2 - Análise de Pareto das emissões de CO ₂ por setor da economia no Brasil em 2019.....	26
Gráfico 3 - Evolução nas emissões de CO ₂ no Brasil por setor.....	27
Gráfico 4 - Emissões Brutas de Gases de Efeito Estufa, Brasil.....	27
Gráfico 5 - Emissões Líquidas de Gases de Efeito Estufa, Brasil (SEEG).....	28
Gráfico 6 – Fontes de Informação.....	42
Gráfico 7 – Ano de publicação.....	43
Gráfico 8 – Distribuição por Idioma.....	43
Gráfico 9 – Assuntos Pesquisados.....	44
Gráfico 10 - Emissões Líquidas de Gases de Efeito Estufa, Brasil.....	51
Gráfico 11 - Emissões Brutas do ‘Grupo Agropecuária’ (em 100mil kgCO ₂ e) de 2010 a 2020.....	52
Gráfico 12 - Emissões Brutas do ‘Grupo Transporte’ (em 100mil kgCO ₂ e) de 2010 a 2020.....	52
Gráfico 13 - Emissões Brutas do ‘Grupo Resíduos’ (em 100mil kgCO ₂ e) de 2010 a 2020.....	53
Gráfico 14 – Crescimento da população brasileira, valores em milhões de habitantes	54
Gráfico 15 - Emissões Brutas do grupo definido como agropecuária para o Brasil de 1990 a 2020.....	54
Gráfico 16 - SEEG Informações do Desmatamento no Brasil de 1990 a 2019.....	55
Gráfico 17 - Remoção de Gases de Efeito Estufa, Brasil.....	63
Gráfico 18 - Emissões Líquidas de Gases de Efeito Estufa, Brasil.....	64
Gráfico 19 - Emissões Brutas do grupo definido como transporte para o Brasil.....	64
Gráfico 20 - Uso de energia renovável no transporte (IEA, 2022).....	66
Gráfico 21 - Participação dos Modais no Transporte do Brasil, 2017 (IEA, 2020).....	67
Gráfico 22- Consumo energético por modal de transporte, evolução em LGE (Litros de Gasolina Equivalente).....	67
Gráfico 23 - Ranking e Classificação de Qualidade Rodoviária em 2017.....	68
Gráfico 24 - Consumo específico em 2020 para países selecionados.....	69
Gráfico 25 - Comparação de emissões de GEE Carga e Passageiros Brasil, 1990-2020.....	69
Gráfico 26 - Comparação das emissões em toneladas de CO ₂ e por quilômetro no transporte de passageiros e no transporte rodoviário.....	71

Gráfico 27- Emissões Brutas de Saneamento Básico para o Brasil.....	72
Gráfico 28 - Emissões Brutas do grupo definido como Resíduos para o Brasil.....	73
Gráfico 29 - Emissões Brutas do grupo definido como Resíduos para o Brasil por variável (SEEG).....	74
Gráfico 30 - Recuperação de Metano para o Brasil.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABC	Agricultura de Baixa Emissão de Carbono
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CSC	Captura e Sequestro de Carbono
CC	Crédito de Carbono
COP	<i>Conference of the Parties</i>
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyze, Improve, Control</i>
GEE	Gases de Efeito Estufa
GHG	<i>Greenhouse Gases</i>
GNL	Gás Natural Liquefeito
ER	Energias Renováveis
EE	Eficiência Energética
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ICC	<i>International Chamber of Commerce</i>
IEA	<i>International Energy Agency</i>
INPE	Instituto de Pesquisas Espaciais
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
MBRE	Mercado Brasileiro de Emissões
MP	Medida Provisória
WHO	<i>World Health Organization</i>
PIUP	Processos Industriais e Uso de Produtos
MUT	Mudanças do Uso da Terra
PL	Projeto de Lei
REDD+	<i>Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation, and the role of Conservation of Forest Carbon Stocks, Sustainable Management of Forests and Enhancement of Forest Carbon Stocks</i>
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
SIPOC	<i>Suppliers, Input, Process, Output, Customer</i>

SUMÁRIO

Contents

1. INTRODUÇÃO.....	18
1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	19
1.2 QUESTÃO DE PESQUISA.....	19
1.3 HIPÓTESE.....	20
1.4 JUSTIFICATIVA.....	20
1.5 OBJETIVOS.....	20
1.5.1 Objetivo Geral.....	20
1.5.2 Objetivos Específicos.....	20
1.6 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	21
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	22
2.1 NECESSIDADE DE TRANSIÇÃO ENERGÉTICA.....	22
2.2. CRONOLOGIA DAS MUDANÇAS ENERGÉTICAS NO MUNDO.....	23
2.3 MATRIZ ENERGÉTICA E EMISSÕES NO BRASIL.....	24
2.4 ALGUMAS AÇÕES DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA MUNDIAL.....	30
2.5 O GÁS NATURAL COMO COMBUSTIVEL DE TRANSIÇÃO.....	33
2.6 POLÍTICAS PÚBLICAS, LEGISLAÇÃO ATUAL E NECESSIDADES.....	35
3 DETALHAMENTO DAS METODOLOGIAS.....	40
3.1 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	40
3.2 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	40
3.2.1 Coleta de Dados.....	42
3.2.1.1 Fonte de Informação.....	42
3.3 METODOLOGIAS TÉCNICAS.....	44
3.3.1 As Forças de Porter.....	45
3.3.2 <i>DMAIC & Lean Manufacturing</i>	46
3.3.2.1 <i>DMAIC</i>	46
3.3.2.2 <i>Lean Manufacturing</i>	47
3.3.3 A análise de SWOT e o Diagrama de Pareto.....	48
3.3.4 Consolidação dos Dados de Pesquisa.....	48
3.3.4.1 Regressão Usando o MINITAB.....	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	50
4.1 DEFINIR (<i>DEFINE</i>).....	50
4.2 MEDIR (<i>MEASURE</i>).....	51
4.3 ANALISAR (<i>ANALIZE</i>).....	54
4.3.1 Agropecuária.....	54
4.3.2 Transporte.....	64
4.3.3 Os Resíduos.....	72
4.3.4 Demanda Global por Energia Limpa.....	75
4.4 MELHORIA (<i>IMPROVE</i>).....	78
4.4.1 Agropecuária.....	79
4.4.2 Transporte.....	80
4.4.3 Resíduos.....	81
4.5 CONTROLAR (<i>CONTROL</i>).....	81
5 CONCLUSÃO.....	83
REFERÊNCIAS.....	85

1. INTRODUÇÃO

A transição energética é um fenômeno constante na humanidade e não um assunto novo, que não se limita unicamente a mudanças na produção de energia elétrica, como o nome poderia indicar. Ao longo dos anos a humanidade vem buscando e encontrou formas mais eficientes e mais limpas para a indústria, para o transporte e para a geração de energia, e atualmente mais um ciclo se inicia (EPBR, 2021).

O acesso à energia está diretamente relacionado com o crescimento de um país, ao desenvolvimento econômico, à qualidade de vida da população e às taxas de mortalidade infantil. A energia permite o funcionamento de estruturas de saneamento, iluminação, transporte, acesso à informação, educação, entre outros aspectos da vida moderna (GOUVEIA RIBEIRO DA SILVA, 2016).

Com o mais recente entendimento da ciência sobre os impactos das emissões sobre a saúde e o clima, foi possível estimar metas requeridas para a redução das emissões e para que os eventos climáticos não sejam tão extremos. Variações climáticas que ocorriam ao longo de milhares de anos estão agora a ocorrer com maior frequência. Nas últimas décadas diversos acordos foram feitos com o objetivo de dividir o ônus dos investimentos nas novas tecnologias requeridas para o atingimento das metas entre as nações (BARBOSA LIMA e HAMZAGIC, 2021).

É importante não pensar a transição como fim, mas como meio, e evitar conclusões possam levar a soluções imediatistas que não sejam viáveis e acabem por impactar na capacidade do País de continuar a sua evolução econômica e social, daí o ponto da sustentabilidade, o que tão pouco deve justificar uma falta de ações para a evolução da transição em si – essa sim deve ser curta e urgente, de forma a não prejudicar as gerações futuras.

Apesar da necessidade ser global, cada País trabalhou para estimar as suas metas, de acordo com as realidades próprias. Por exemplo o Brasil hoje é responsável por 1,3% das emissões globais de CO₂, enquanto a China responde por 30%, Ásia do Sul por 20% e Estados Unidos por 15%, ou seja, não se pode

demandar do Brasil da mesma forma que se demanda em ações à outras nações, o que não quer dizer não há trabalho a ser feito no Brasil (EPBR, 2021).

Existe ainda a oportunidade do protagonismo em disponibilizar soluções verdes que possam ajudar a outras nações a reduzirem ou até mesmo a compensarem suas emissões, através de créditos de carbono, como por exemplo, se beneficiarem do *Green Deal* Europeu, anunciado na COP26, seja através dos Créditos de Carbono ou através do oferecimento de produtos manufaturados com baixa emissão, que conseqüentemente, menor taxa (FARIA, 2021).

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Traçar o caminho para uma transição energética sustentável é um diferencial importante para a continuidade do desenvolvimento de uma nação, tanto pelo impacto na saúde e na vida dos seus habitantes, como também na competitividade global (WHO, 2021). A implantação de metodologias conhecidas e consagradas como a Análise de Pareto, a Regressão, as Forças de Porter, SWOT, e o DMAIC, servirão de base para a escolha da melhor solução a ser implementada. Existem diversas informações disponíveis sobre a transição energética, porém pouco é conhecido sobre a viabilidade e a aplicabilidade no contexto do Brasil. Sendo assim, a utilização destas metodologias irá embasar as melhores propostas.

Deve-se entender o contexto nacional e de que forma as tecnologias existentes podem ser mais bem aproveitadas.

1.2 QUESTÃO DE PESQUISA

Com base na formulação e no contexto do problema aqui retratados, para definir caminhos para a transição energética sustentável no Brasil, com o emprego dos métodos técnicos sugeridos, este trabalho procurará responder a seguinte Questão de Pesquisa:

- Considerando o contexto de tecnologias existentes e a busca por formas de compensação de emissões de carbono, qual seria o melhor caminho para a transição energética no Brasil?

1.3 HIPÓTESE

Respondendo à Questão de Pesquisa, tem-se a seguinte Hipótese: O melhor caminho será definido, inicialmente, com base na literatura e explorando opções de tecnologias disponíveis no mercado, e a serem mais desenvolvidas. Posteriormente, com a utilização de ferramentas consagradas como a Análise de Pareto, a *Regressão*, as Forças de Porter, SWOT, e o DMAIC.

1.4 JUSTIFICATIVA

A pesquisa aqui apresentada está focada em um tema de alta relevância no contexto global atual e que se destaca no campo científico. Iniciando-se no entendimento das principais emissões de carbono no Brasil, entendendo as suas causas e de que forma o País pode, não somente reduzir as suas emissões, mas colaborar para que o mundo possa atingir as suas metas, assim como garantir o seu desenvolvimento econômico e social.

Quando as nações mundiais são desafiadas a buscar alternativas mais sustentáveis e que produzam menos emissões, é preciso orientar soluções alinhadas com técnicas apropriadas. Utilizar a ferramenta técnica da *Regressão*, em conjunto com as técnicas já enumeradas, irá elencar os caminhos para a transição energética sustentável no Brasil.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é apresentar potenciais soluções para a transição energética no Brasil, utilizando ferramentas técnicas de análise e tomada de decisões, já conhecidas no meio empresarial e mercado.

1.5.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Apresentar uma revisão bibliográfica sobre a transição energética;

- Apresentar uma pesquisa teórica sobre Análise de Pareto, a Regressão, as Forças de Porter, SWOT, e o DMAIC;
- Apresentar a utilização das ferramentas Análise de Pareto, a Regressão, as Forças de Porter, SWOT, e o DMAIC.

1.6 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O trabalho está estruturado em capítulos descritos da seguinte maneira:

- O Primeiro Capítulo introduz a necessidade da transição energética, apresentando o problema de forma geral, formulando perguntas, situando o contexto que a pesquisa será aplicada, seguido da Hipótese e da Justificativa, o Objetivo Geral, Objetivos Específicos e com a organização da Dissertação;
- O Segundo Capítulo apresenta o Referencial Teórico sobre a necessidade da transição energética, sua evolução ao longo dos anos no mundo, explica a matriz energética e as emissões no Brasil, as lições aprendidas com a transição energética no mundo, discorre sobre a importância do Gás Natural como combustível de transição, decifra as políticas públicas, legislação e necessidades para uma transição energética rápida e efetiva e explica o mercado de crédito de carbono e a economia por trás da transição;
- O Terceiro Capítulo apresenta o Referencial Teórico das metodologias de pesquisa, definindo a metodologia proposta, e as metodologias 'técnicas' aplicadas nesta dissertação;
- No Quarto Capítulo segue com o Desenvolvimento do estudo com base nas informações apresentadas e o debate dos autores citados no segundo capítulo,
- O Quinto Capítulo tem-se os Resultados e a discussão sobre estes;
- No Sexto Capítulo é realizada uma avaliação dos dados apresentados neste trabalho, para assim apresentar a conclusão e potenciais temas a serem explorados no futuro.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 NECESSIDADE DE TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

O mundo tem experimentado ciclos mais frequentes de desastres naturais, ao mesmo tempo que se observa um constante aumento da temperatura do planeta. Esse aumento está associado ao confinamento do calor do sol refletido pela superfície, que acaba por estar preso no planeta imediatamente abaixo da atmosfera, onde ficam acumulados os chamados gases de efeito estufa (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2021).

Gases de efeito estufa são gases que possuem uma longa meia vida e uma grande capacidade de armazenar e refletir calor. Cada gás tem um diferente potencial de causar o efeito estufa, sendo um dos mais importantes o dióxido de carbono (CO₂), devido ao seu volume. Exemplos de outros gases são o Vapor d'água (H₂O), Metano (CH₄), Óxido Nitroso (N₂O), CCF-12 e o HCFC-22. O potencial de causar o efeito estufa é medido em CO₂e, ou CO₂ equivalente (BABARINDE e AYODELE ADIO, 2020).

Os gases de efeito estufa ocorrem tanto por fenômenos naturais, como também por fenômenos antropológicos como a agricultura, pecuária, produção de energia, construção civil, necessidades domésticas, produção de alimentos, entre as diversas industriais – atividades que são importantes para o desenvolvimento e para a sobrevivência humana. Muitas vezes o consumo não sustentável tem levado a desequilíbrios ou até mesmo a emissões desnecessárias (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2017).

Dentre as principais consequências das emissões atmosféricas estão doenças relacionadas as emissões, em especial as emissões resultantes da queima de alguns tipos de hidrocarbonetos, como o carvão mineral e o óleo diesel. Estima-se que cerca de 4,2 milhões de pessoas morrem todos os anos devido a poluição atmosférica, o que é mais do que a maior pandemia global, que mudou completamente a forma de vivermos e afetou de forma significativa a economia global (WHO, 2021).

2.2. CRONOLOGIA DAS MUDANÇAS ENERGÉTICAS NO MUNDO

O termo 'transição energética' não é um termo novo para a humanidade. A humanidade já passou por diversas transições energéticas ao longo dos anos desde a descoberta do fogo até os dias atuais, e cada uma dessas transições está associada a uma nova necessidade humana, seja por impacto positivo ou negativo. Por exemplo a descoberta do fogo, que permitiu aos seres humanos se defenderem de predadores e de se aquecerem no inverno. Em se tratando do aquecimento de alimentos e água, esta atividade era considerada prejudicial pois sua maior consequência era o adoecimento das pessoas da família. Havia a proliferação de doenças pois geralmente a comida era feita em ambientes confinados, e a falta de conhecimento na época, levava muitos alimentos a ficarem carbonizados. Esta prática levou também ao aparecimento de alguns tipos de câncer.

Com a domesticação de animais também foi possível a utilização de máquinas para o transporte de tração animal, o que levou ao benefício das viagens mais longas em menor tempo. Porém, o acúmulo de detritos nas ruas também teve como consequência novas doenças que se espalhavam em meio às pessoas.

Na Revolução Industrial, o uso da máquina a vapor, vapor este gerado pela queima do carvão, impulsionou o desenvolvimento e mudou a forma de vida – a energia a vapor era usada em máquinas industriais e em meios de locomoção como trens e barcos, mas as cidades ficavam escuras com a queima do carvão e doenças respiratórias eram muito comuns. O uso de óleo de animais, como o óleo de baleia, levou a possibilidade da iluminação, o que aumentou a produtividade humana, pois já não se tinha mais a necessidade da luz solar para estudar e produzir (EPBR, 2021).

Com o aparecimento do petróleo, foi possível a utilização do querosene e os demais combustíveis, o que impulsionou o motor a combustão. Várias tecnologias foram descobertas ao longo da história, como a máquina a vapor, máquinas e veículos a tração animal, entre outras, e cada uma delas foi sendo substituída por outra de maior valor. Todas elas, ainda hoje estão presentes: tecnologias descobertas há anos, utilizadas em menor proporção, e para cada uma dessas tecnologias, houve um momento em que foi necessária uma transição. Da mesma

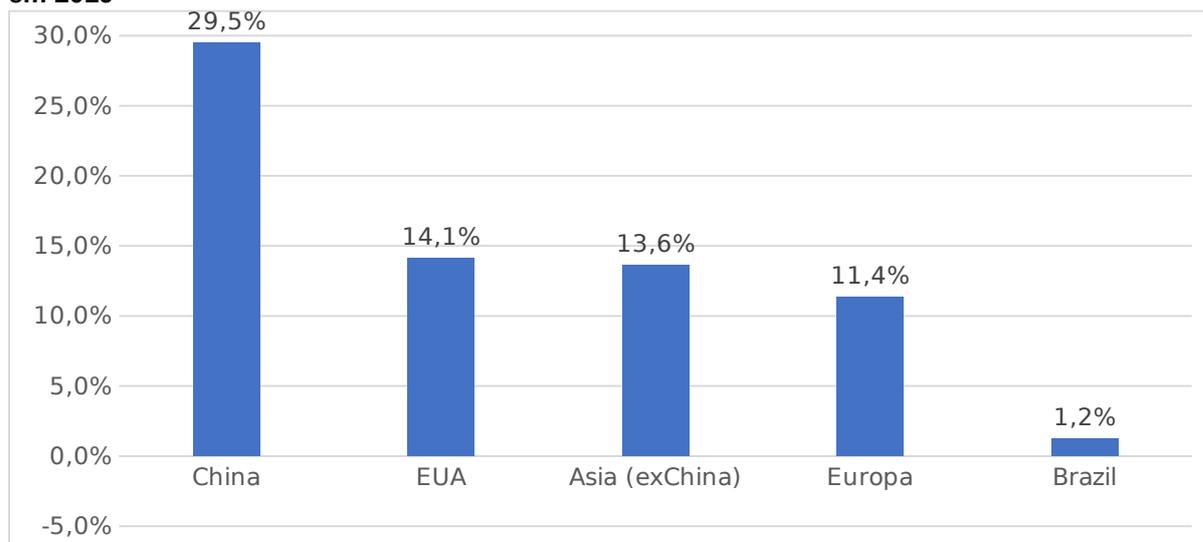
forma que hoje a ciência nos permitiu conhecer os impactos das emissões da queima de alguns combustíveis fósseis e dessa forma a necessidade de uma nova transição (EPBR, 2021).

2.3 MATRIZ ENERGÉTICA E EMISSÕES NO BRASIL

É importante contextualizar que apesar do Brasil estar entre os maiores emissores de gases de efeito estufa do mundo, este não está entre os maiores emissores de gás carbônico (CO₂) na mesma esfera, conforme pode ser observado no Gráfico 1: dados da Agência Internacional de Energia (IEA), que inclui Países/regiões que somam 70% das emissões do mundo, incluindo o Brasil, como referência.

A China é hoje um dos Países que mais cresce no mundo, e com isso é esperado também o crescimento do consumo de energia e das emissões, a menos que ações sejam tomadas na mesma proporção que vêm sendo tomadas na Europa e nos Estados Unidos. Estes países, embora não possuam a mesma taxa de crescimento que a China, são muito industrializados e não possuem características geográficas favoráveis a energia renovável demandando muita energia para o aquecimento residencial, por exemplo (IEA, 2020).

Gráfico 1– Percentual das Emissões de CO₂ por País/Região sobre o total de emissões Globais em 2019



Fonte: (IEA, 2020)

A Tabela 1 ilustra a ordem de emissões por País/Região, favorecendo uma melhor compreensão de como se deu a evolução das emissões de CO₂. É

importante considerar que esses valores são absolutos e as variações não necessariamente implicam um maior investimento em energias renováveis ou crescimento/redução na economia.

Tabela 1 - Valores de emissões de CO2 em Mt por País/Região

Países	1990	2000	2010	2019
China	2.123,1	3.138,1	7.872,0	9.919,1
EUA	4.803,0	5.729,8	5.352,1	4.744,5
Asia (excl. China)	1.205,6	2.010,8	3.173,4	4.575,2
Europa	5.175,2	4.546,0	4.456,5	3.816,8
Brasil	184,8	294,6	374,4	411,0
Mundo	20.511,1	23.240,1	30.574,7	33.621,5

Fonte: (IEA, 2020)

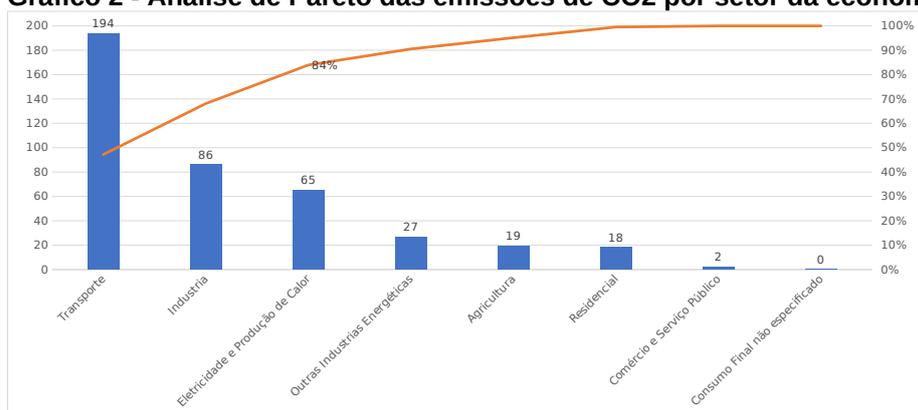
Na Tabela 2, pode-se observar que alguns países conseguiram, de forma mais eficaz, a redução das emissões, apesar de ser um valor consideravelmente elevado, como é o caso dos Estados Unidos, que vem consistentemente reduzindo as emissões década após década. Apesar do Brasil não apresentar redução nas emissões de CO₂, a taxa de aumento das emissões vem se reduzindo de forma constante a quase 10% a década, e já está abaixo de 10%, o que significa que o Brasil está na tendência correta; outros Países, com exceção da Europa e da China são os únicos que possuem taxas de redução maiores.

Tabela 2 - Redução e Aumento das emissões de CO2

Países	2000/1990	2010/2000	2019/2010
China	32%	60%	21%
EUA	16%	-7%	-13%
Asia (excl. China)	40%	37%	31%
Europa	-14%	-2%	-17%
Brazil	37%	21%	9%
Mundo	12%	24%	9%

Fonte: (IEA, 2020) – adaptado pelo autor

O Gráfico 2 aponta os três setores da economia que representam 84% das emissões de CO₂ no Brasil e estes setores devem ser analisados com rigor, dada a relevância: o 'Grupo Transporte', da indústria e de eletricidade para a produção de calor. No 'Grupo Transporte' estão incluídos os diversos modais de transporte, tanto para o transporte de carga como para o de passageiros. Esse indicador irá gerar impacto no setor de energia no segmento industrial pois está considerada a energia elétrica e demais combustíveis consumidos pelas indústrias para suas emissões, assim como no consumo de eletricidade e produção e calor.

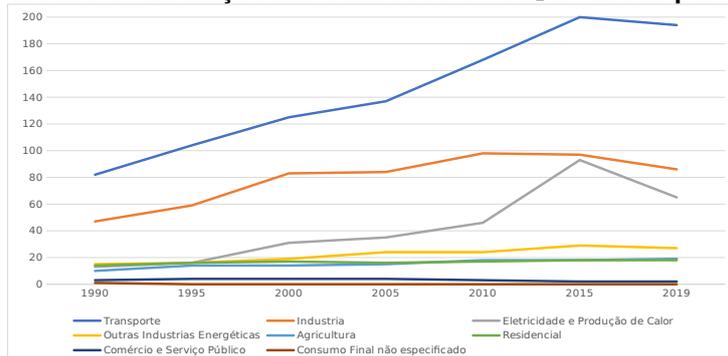
Gráfico 2 - Análise de Pareto das emissões de CO₂ por setor da economia no Brasil em 2019.

Fonte: (IEA, 2020)

Embora a informação do Gráfico 2 seja estática pois refere-se ao ano de 2019, ano já comprometido pelo fenômeno da COVID-19. As estatísticas sinalizaram a possibilidade desta tendência em vários cenários. Mas, neste trabalho optou-se por apresentar o ano de 2019 como referência geral, assumindo a Pandemia como um fenômeno fora da curva.

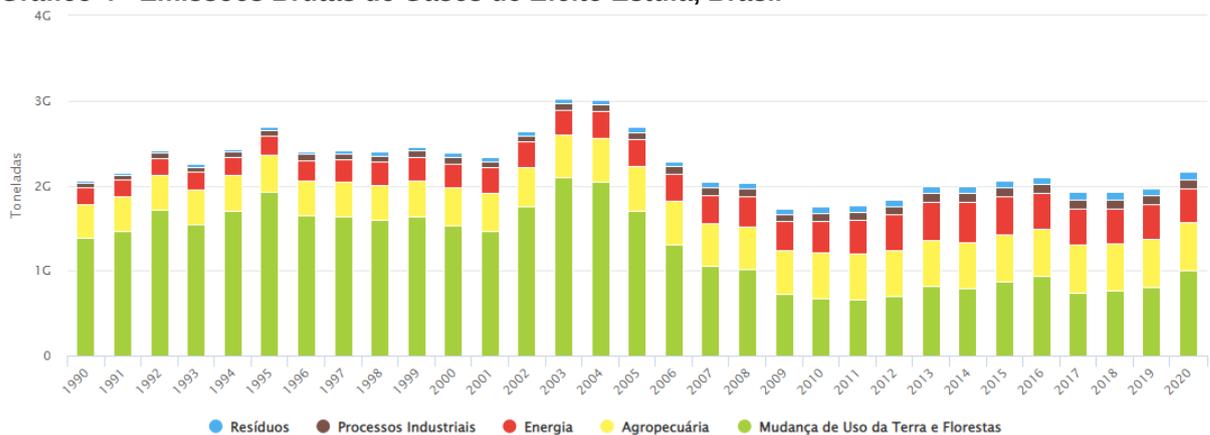
Existem duas óticas para entender as emissões, a ótica pura das emissões de gás carbônico (CO₂), e a ótica das emissões de Gases de Efeito Estufa (CO₂e), além disso essas emissões podem ser apresentadas de forma líquida, ou seja, descontando eventuais compensações de emissões ou através de créditos de carbono, ou através de emissões brutas, que consideram de fato o quanto foi emitido pelo setor ou sistema – entender e comparar o que cada agência apresenta e como apresenta é importante para compreender o problema por diferentes perspectivas.

O Gráfico 3 mostra o perfil das emissões de CO₂ no tempo, o que confirma, por tendência, a presença dos três setores já mencionados: Transporte, Indústria e de Eletricidade para a produção de calor. Segundo o gráfico, o ano de 2015, ano do ‘Acordo do Paris’, mostra uma mudança no comportamento das emissões brutas de CO₂ nos 3 maiores setores geradores de emissões no Brasil.

Gráfico 3 - Evolução nas emissões de CO₂ no Brasil por setor

Fonte: (IEA, 2020)

Sob uma perspectiva geral de emissões de gases de efeito estufa (CO₂e), o Brasil é o quinto maior emissor mundial, atrás dos Estados Unidos, China, Rússia e Índia, sendo que essas emissões são principalmente o resultado do uso da terra, como pode ser observado no Gráfico 4, o que o diferencia dos demais Países da lista. As informações foram extraídas dos documentos publicados pelo Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2021).

Gráfico 4 - Emissões Brutas de Gases de Efeito Estufa, Brasil

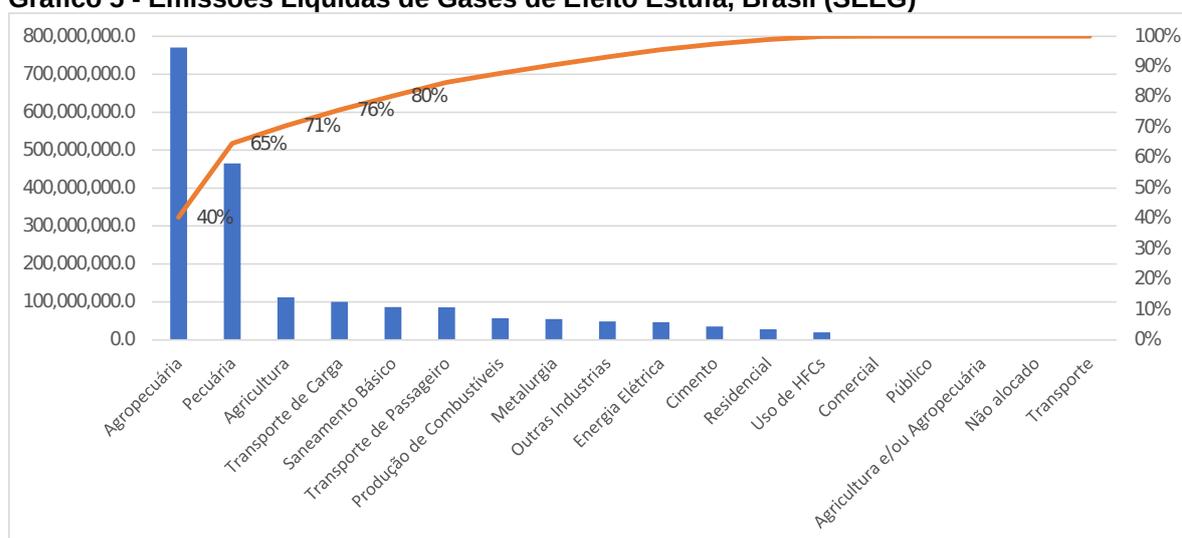
Fonte: (SEEG, 2021)

Observando-se o Gráfico 4, chama a atenção o pico do desmatamento no Brasil entre 2003 e 2004, mas também é importante mencionar que nem sempre o dado bruto deve ser levado em consideração, uma vez que é demonstrado que também existem investimentos em remoção de carbono, já em prática no Brasil,

especialmente com respeito ao maior setor em emissões. Este último é apresentado no Gráfico 5.

Conforme o Gráfico 5 os grupos que mais respondem por emissões líquidas de gases de efeito estufa, no Brasil, são a Agropecuária, a Pecuária, Agricultura, Transporte de Cargas, Saneamento Básico e o Transporte de Passageiros, gráfico este que não considera na 386Mt de CO₂e abatidos pela conservação de áreas protegidas.

Gráfico 5 - Emissões Líquidas de Gases de Efeito Estufa, Brasil (SEEG)



Fonte: Adaptado de (SEEG, 2020)

Ainda conforme se verifica no Gráfico 5, os setores como Agropecuária e Pecuária respondem por 65% das emissões líquidas, reservando à estas duas atividades um posicionamento extremamente relevante nas emissões totais do Brasil (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2021).

Quando se realiza a análise das emissões por região, levando em consideração emissões brutas de 2000 a 2018, verifica-se que a região com mais emissões é a Região Norte. Esta região possui a menor produção industrial, demanda de energia elétrica e densidade populacional, mas classifica-se como a região com maiores emissões pois que são oriundas exclusivamente das atividades de uso da terra.

Na Tabela 3 são apresentadas as regiões do país e suas emissões por tipo de atividade.

Tabela 3 - Emissões Brutas de Gases de Efeito Estufa, Brasil

Emissões por Região	Mt CO₂e	Agropecuária	MUT	Energia	Resíduos	PIUP
Norte	625.5	22.4%	74.9%	2.4%	0.0%	0.2%
Centro-Oeste	382.3	79.4%	16.3%	4.1%	0.2%	0.0%
Sul	195	75.6%	9.1%	14.4%	0.6%	0.3%
Nordeste	239.1	65.2%	20.3%	12.5%	1.9%	0.1%
Sudeste	396.2	67.3%	7.5%	22.0%	2.6%	0.6%

Fonte: (SEEG, 2021)

Nota-se que as atividades ligadas aos 'Processos Industriais e Uso de Produtos' (PIUP) apresentam as menores taxas de contribuição para as emissões, enquanto as atividades de 'Mudanças do Uso da Terra (MUT)' são apontadas com os maiores índices, conforme apresentado por SEEG (2021), informação condizente com o apresentado na Tabela 4.

A Tabela 4 mostra o volume das emissões relacionando-os com os municípios das regiões do Brasil, em destaque estão as cidades de São Paulo e do Rio de Janeiro, que possuem grande densidade populacional e produção industrial, e que somadas não geram o mesmo impacto de emissões de GEE que a cidade de São Felix do Xingu no Pará.

Tabela 4 - Emissões Brutas de Gases de Efeito Estufa por Município, Brasil

Municípios	Emissões	UF	Região	Setor Destaque
São Felix do Xingu	29,768,597.0	PA	Norte	MUT
Altamira	23,381,897.0	PA	Norte	MUT
Porto Velho	22,492,817.0	RO	Norte	MUT
São Paulo	17,964,207.0	SP	Sudeste	Energia
Pacajá	15,045,485.0	PA	Norte	MUT
Colniza	14,277,745.0	MT	Centro-Oeste	MUT
Lábrea	13,771,531.0	AM	Norte	MUT
Novo Repartimento	12,262,395.0	PA	Norte	MUT
Rio de Janeiro	11,786,733.0	RJ	Sudeste	Energia
Serra	11,517,335.0	ES	Sudeste	PIUP
Portel	10,783,464.0	PA	Norte	MUT
Nova Mamoré	10,588,922.0	RO	Norte	MUT
Novo Progresso	10,218,335.0	PA	Norte	MUT
Novo Aripuanã	10,121,953.0	AM	Norte	MUT
Apuí	9,505,715.0	AM	Norte	MUT
Manaus	7,700,772.0	AM	Norte	Energia

Fonte: (SEEG, 2021)

2.4 ALGUMAS AÇÕES DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA MUNDIAL

A transição energética e o controle de emissões são um fenômeno específico para a realidade de cada país. Enquanto para alguns países as emissões estão mais relacionadas a geração de energia, para outros, como por exemplo o Brasil, estão relacionadas ao uso da terra. Quando se realiza um rápido mapeamento sobre as iniciativas mundiais, é necessário inicialmente o entendimento das estratégias conhecidas e disponíveis.

Existem 4 principais estratégias para a transição energética:

- **Aumento de eficiência** através da eliminação de desperdícios, com aplicação em tecnologias de construção, transporte, geração de energia e distribuição, veículos e conceitos de projeto;
- **Uso de energia renovável** como geotérmica, solar, eólica e hidráulica, e a substituição de geração de energia por fontes que emitem mais carbono para fontes que emitem menos carbono (Gás Natural x Carvão, Etanol x Gasolina) e,
- **Processos de captura de carbono** antes da sua emissão atmosférica (e o processo de captura de carbono lançado na atmosfera), que se decompõe em quatro partes principais: captura, transporte, armazenamento geológico (ou uso na indústria) e monitoramento; (BABARINDE e AYODELE ADIO, 2020)
- **Processos de Compensação** onde os GEE são compensados por títulos de carbono ou títulos de metano, por exemplo. O emissor não deixa de emitir, porém o 'Título de Carbono' obtido de uma 'Empresa/Agência Certificadora' garante que o emissor está, de alguma forma, financiando um projeto que está retirando o equivalente em carbono emitido da atmosfera em algum lugar do planeta (UNITED NATIONS, 2022).

Diversas tecnologias estão presentes no processo de desenvolvimento de soluções de baixo carbono, em cada um dos segmentos/áreas citadas anteriormente. Mas é preciso medir e entender o impacto dos gases de efeito estufa, e para isso, diversos tipos de sensores, cada vez mais precisos, estão disponíveis para essa avaliação. Governos vem gerando, a partir de padrões iniciais de medições, metas de mitigação ou eliminação a depender das tecnologias disponíveis (HAFNER e NOUSSAN, 2020).

As organizações vêm trabalhando as emissões dos gases do efeito estufa em 3 escopos:

- ‘Escopo 1’: relacionadas as emissões diretas das atividades das empresas;
- ‘Escopo 2’: relacionadas as atividades indiretas, como consumo de eletricidade, por exemplo;
- ‘Escopo 3’, relacionadas a cadeia de fornecedores – essa categoria está relacionada a emissões de fornecedores da cadeia de suprimento da empresa, ou seja, as empresas devem buscar não somente a redução em suas próprias emissões, mas têm o dever de garantir que os seus fornecedores reduzam as suas emissões, o que cria um ciclo global de consumidores e fornecedores comprometidos com a transição energética (O’SHEA, LIN, et al., 2020).

Em termos de ‘Transição Energética na União Europeia’ há um foco no alinhamento de políticas energéticas e climáticas, com o reforço de objetivos de descarbonização de longo prazo, assim como da proteção ambiental. A geração de energia é um ponto sensível para a descarbonização da União Europeia, onde a Polônia e Alemanha ainda dependem fortemente da geração de energia a carvão, em números de 80% e 37% de geração de energia, respectivamente (EYL-MAZZEGA e MATHIEU, 2020). Este cenário compromete o continente à um grande investimento em energias renováveis como solar e eólica, que são dependentes de condições climáticas e ciclos de rotação do planeta Terra, além de outras fontes como nucleares e a Gás Natural, além do Hidrogênio. A ‘Transição Energética na Polônia’ está focada principalmente na transformação da indústria do carvão e no desenvolvimento de unidades de geração eólica *offshore* e a construção de usina nuclear.

Para minimizar o impacto da disponibilidade de alguns tipos de energias renováveis, diversos projetos de armazenamento de energia estão em estudo no mundo como o armazenamento em baterias, produção de amônia ou hidrogênio verde, energia hidráulica, dentre outras (BARBOSA LIMA e HAMZAGIC, 2021).

O Gás Natural, seja por tubulação ou pelo Gás Natural Liquefeito (GNL) têm um papel fundamental na transição energética, tanto para o setor de eletricidade e produção de calor como para o de transporte e para a indústria, uma vez que tem uma queima mais limpa e, por não depender de condições ambientais como volume de chuva, vento ou sol, oferece uma maior disponibilidade do sistema elétrico.

Para viabilizar a transição energética mundial foi criado um Fundo Financeiro internacional, reforçando a preocupação e interesse dos governos. Este Fundo tem o principal objetivo de subsidiar e apoiar regiões mais vulneráveis, de forma a proteger e ajudar aos que forem atingidos, pelas mudanças climáticas, de forma mais intensa. Este Fundo não se limita à liberação de montantes financeiros, mas também à criação de políticas públicas regionais, como por exemplo políticas que limitam a entrada de produtos com alta emissão de CO₂, que já estão em negociação (EYL-MAZZEGA e MATHIEU, 2020). Outras políticas são aquelas que viabilizam o acesso à energia necessária à manutenção da vida por pessoas menos privilegiadas ou em situação vulnerável. Estima-se que 34 milhões de europeus não consigam pagar pelo aquecimento de suas residências, ou seja, sem os incentivos adequados mais pessoas poderão entrar nesses números (EYL-MAZZEGA e MATHIEU, 2020).

A captura de carbono, utilização e armazenamento vem sendo cada vez mais difundida na Europa, principalmente na Noruega, onde as rígidas leis ambientais cobram mais impostos dos mais poluidores, porém ainda o custo é pouco competitivo e tem sua aplicação muito dependente de incentivos e da disponibilidade de mecanismos de compressão, bombeamento e armazenamento, bem similar a tecnologias necessárias para o GNL.

No 'Grupo Transporte', seja de cargas ou passageiros, tecnologias ligadas ao aumento de eficiência de motores de combustão interna, ao uso de 'combustíveis verdes' como os Biocombustíveis, Gás Natural e tecnologias mais novas como a combustão de hidrogênio ou uso de células de combustíveis com hidrogênio. Há ainda o uso de veículos elétricos e híbridos, que reduzem significativamente o consumo do combustível, que pode ser considerado 'verde' (grifo do autor). No transporte, a avaliação da matriz também é chave para o aumento da eficiência,

como a revisão do modal mais adequado para cada necessidade (HAFNER e NOUSSAN, 2020).

Uma perspectiva importante para o transporte é o fato de que a migração para veículos elétricos não indica, necessariamente, uma redução no padrão das emissões. Dependendo da matriz de geração da energia a emissão de CO₂ pode resultar em aumento, conforme Tabela 5 que apresenta uma comparação entre as emissões de carros a gasolina, híbridos e elétricos, e observa-se que um veículo híbrido de categoria superior termina por ser competitivo em relação aos demais, dessa forma, um compacto híbrido teria uma oportunidade ainda maior, pois ao comparar-se com o elétrico, este não depende de adaptação de postos de abastecimento (BARBOSA LIMA e HAMZAGIC, 2021).

Tabela 5 – Comparação de emissões de diferentes veículos a cada 100km

Local/Veículo	CO ₂ /100km
Carro Elétrico - Brasil	1,3kgCO ₂ /100km
Carro Elétrico - Países Hemisfério Norte (1kgCO ₂ e/kWh)	17.5kgCO ₂ /100km
Carro sub-compacto a gasolina	9,8kgCO ₂ /100km
Veículo híbrido de categoria superior	2,8kgCO ₂ /100km

Fonte: adaptado de (INMETRO, 2020), (KARCZEWSKI, SZCZĘCH e POLAK, 2019) e (CARBON FOOTPRINT, 2020)

Especificamente no transporte de cargas, a migração de modais pode ser lenta, especialmente do modal rodoviário para o ferroviário, que depende de soluções intermediárias, como o uso de caminhões e ônibus a Gás Natural ou em mistura de Gás Natural com Diesel, condição que já vem sendo explorada em alguns Países. Ainda existem casos como o da aviação, onde não existe ainda uma tecnologia viável para a transição imediata, onde soluções de mistura de combustíveis renováveis estão apenas começando, exatamente onde mecanismos de compensação são necessários (TERRA NOVA LOGISTICA, 2022).

2.5 O GÁS NATURAL COMO COMBUSTIVEL DE TRANSIÇÃO

Os GEE são um tipo de poluição atmosférica, e na queima de combustíveis fósseis geralmente acontece a liberação de outros agentes químicos que geram poluição atmosférica, mas no caso do Gás Natural, que é um combustível fóssil, a

queima é praticamente estequiométrica e não há emissão de outros poluentes como o enxofre ou o chumbo, como no caso do diesel, do carvão ou da gasolinasa.

O Gás Natural, metano, apesar de ser um gás de efeito estufa, é um combustível fóssil de baixa densidade e grande disponibilidade global, e a sua queima, quando comparada a outros combustíveis fósseis gera até 85% menos poluição do que o diesel, e 10% menos GEE (RODRIGUES TEIXEIRA, ROCHA BORGES, et al., 2020). Ao contrário do Petróleo a sua precificação ainda é muito regionalizada podendo ser precificada contra diferentes indicadores, como por exemplo a referência de óleo combustível, usada na negociação do gasoduto Brasil-Bolívia, ou ainda a Henry-Hub, negociado pelo Golfo do México (um tipo de indicador menos volátil), que também possui variações, mas que em sua maioria têm como maior fator de negociação de preço o custo da oportunidade acima do custo da produção (FGV, 2014) (EPBR, 2021).

Dada a sua baixa emissão em comparação com outros combustíveis fósseis, a União Europeia considerou o Gás Natural como combustível verde. Um dos aspectos importantes deste combustível é a intercambialidade com o Biogás, que também é metano, e é obtido através da decomposição de matéria orgânica, e a compatibilidade com o hidrogênio, o que produz uma queima mais limpa (ADETUNJI, 2022).

A estrutura construída para o Gás Natural pode ser utilizada para projetos de gás carbônico, hidrogênio e biometano, e com os recentes investimentos em terminais de Gás Natural Liquefeito o transporte e armazenamento tornam-se mais viáveis (EUROPEAN UNION, 2022).

Pelo ponto de vista de estratégia energética, o Gás Natural também é um excelente combustível para ser usado como reserva para as energias renováveis, que sofrem com disponibilidade devido a condições ambientais, podendo ser queimado em térmicas para a geração de energia (TAPETADO, VICTORIA, et al., 2021).

O Brasil possui uma das maiores frotas de veículos a Gás Natural do mundo, que só não é maior, devido à falta de cobertura no território nacional (PACHECO e CASTRO, 2004). Isto pode ser alterado com a conhecida 'Lei do Gás' ou Lei

14132/2021, recentemente aprovada, que habilita o mercado a mais investimentos em toda a cadeia, produção, processamento e distribuição (EPBR, 2021). Outro marco importante com relação a esta legislação é que ela termina com o monopólio do mercado de Gás Natural, dando respaldo para a entrada de novos investidores (CONGRESSO NACIONAL, 2021). Este mercado se tornará um atrativo para que pequenos investidores em Biogás possam futuramente usar modais tradicionais do Gás Natural para a exportação de seus produtos. Importante para a aplicação desta nova lei é o uso da infraestrutura de gasodutos, o que gera preocupação na forma com que reformas legais possam vir a afetar investimentos feitos por empresas no País.

Nos dias atuais, cerca de 58Mm³/d de Gás Natural são re-injetados nos poços por falta de estrutura e de demanda, enquanto com cerca de 30 milhões de m³/d seriam suficientes para substituir a importação de 7-8 bilhões de dólares/ano em óleo diesel. Isto reduziria a dependência brasileira na variabilidade de câmbio e do preço internacional do petróleo, além da redução das emissões no 'Grupo Transporte' que é um dos maiores em emissões (GOMES, BRUM e HOLLANDA, 2021).

2.6 POLÍTICAS PÚBLICAS, LEGISLAÇÃO ATUAL E NECESSIDADES

Apesar da transição energética ser algo claro e necessário devido aos impactos observados, o custo da transição é alto e depende muito de incentivos, investimentos e do entendimento de todas as partes afetadas (FAPESP; INTERACADEMY COUNCIL; ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS, 2010).

Os programas de etiquetagem, são programas de conscientização para o consumidor, deixando claras as especificações de consumo, desgaste e até mesmo de emissões do produto em comparação com padrões da indústria ou em relação a outros produtos no mercado. Isto dará ao consumidor a possibilidade de uma escolha mais consciente (UOL, 2021). A etiquetagem refere-se diretamente as emissões, como em automóveis. No consumo de energia elétrica, segundo Cardoso, et. al., 2009, em 14 anos houve uma economia de energia de 3,7TWh em 21 categorias de produtos, sendo que apenas com o motor elétrico a economia de

energia gerada foi na ordem de 428GWh (BALBINO CARDOSO, HORTA NOGUEIRA, et al., 2009).

No Brasil vem sendo desenvolvido o Projeto de Lei 528/2021 que regulamenta o Mercado Brasileiro de Emissões (MBRE), determinado pela Lei 12187/2009 que trata da Política Nacional de Mudança do Clima. Quando publicada, a Lei dará, aos futuros investidores, mais segurança para investir, uma vez que vai regular a compra e venda de créditos de carbono no país (RAMOS, 2020). Isto aumentará a atratividade do negócio, para o Brasil. Além disso na semana de 25 de março de 2022 o Brasil lançou o programa do crédito de metano, que deve incentivar ainda mais os projetos de biogás e biometano. Estes projetos foram regulamentados pela Resolução 685/2017 pela ANP, resolução esta que determina os padrões de qualidade e regras de sua utilização (ANP, 2017). Existe ainda o projeto governamental chamado de 'Corredores Sustentáveis' que pretende incentivar a utilização do biometano no interior dos estados, onde as malhas de Gás Natural ainda não tenham chegado (GOVERNO DO BRASIL, 2022).

O Hidrogênio é chamado o combustível do futuro pois pode ser imediatamente usado em motores a Gás Natural já existentes, tanto por meio da mistura com o Gás Natural ou Biometano, quanto em totalidade, além de servir para a produção de eletricidade de forma direta com o uso de células de combustível. O seu transporte pode acontecer na forma pura, que demanda cilindros pressurizados ou na forma de amônia.

A produção mais simples do Hidrogênio é através da eletrólise da água, e a depender da fonte energética usada para a sua produção ele pode ser classificado em cores, o mais procurado é o Hidrogênio Verde que é produzido através do uso de energias renováveis, sendo inclusive uma das formas de armazenamento do excedente de produção de energias renováveis (BARBOSA LIMA e HAMZAGIC, 2021).

O Projeto de Lei 725/2022, a chamada Lei do Hidrogênio, é um novo e importante marco para o gás do futuro. O Hidrogênio possui uma intercambialidade com o Gás Natural ou Biogás, e equipamentos que queimam esses gases também são capazes de operar com um certo percentual de hidrogênio, o que produz uma

queima mais limpa e reduz a necessidade de combustíveis fósseis. O projeto prevê uma adição de 5% de hidrogênio na rede de gasodutos já em 2032, com o plano de elevar esse número a 10% até 2050, sendo que 60% desse hidrogênio mandatoriamente produzido com energia renovável, o chamado hidrogênio verde, e o restante de outras fontes. O PL também prevê metas de aumento da participação do hidrogênio verde na matriz de 60% para 80% (MACHADO, 2022).

Ainda em relação a energias, no 'Grupo Transporte', o governo vem trabalhando no projeto de venda direta do etanol de produtores a postos de combustíveis, regulado pelas Medidas Provisórias 1063/2021, 1069/2021 e pela resolução 855/2021 da Agência Nacional do Petróleo, ANP. Estas ações irão melhorar a competitividade do etanol em relação a gasolina, o que terá um impacto direto na emissão de CO₂, uma vez que o Etanol, como combustível, polui 80% menos que a gasolina em sua cadeia produtiva. Projetos voltados para a agricultura, e a associação do etanol com motores híbridos ou a célula de etanol. Nesse momento a ANP está realizando consulta pública relativa à qualidade do etanol nesse novo mercado direto, o que deve alterar as resoluções 9/2007, 19/2015 e 828/2020.

Com relação ao Saneamento e Resíduos o principal impacto na transição energética é a emissão livre do Gás Metano, através de decomposição anaeróbica. O decreto 10.936, de 12 de janeiro de 2022, regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, definindo responsabilidades, a operacionalização da coleta seletiva (PODER EXECUTIVO, 2022). O Plano Nacional de Logística Reversa, busca o retorno dos resíduos sólidos ao meio empresarial para o reaproveitamento ou destinação adequada e determina ações para a resolução dos problemas de lixões (ASCOM MMA, 2022).

Apesar da regulamentação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, 12 anos depois, a quantidade de lixões, em todo País, é próxima a 3mil. Muitos tem localização conhecida, mas é necessária a fiscalização e incentivos para a conversão destes em usinas de reciclagem e produção de Biogás, o que requer linhas de financiamento específicas para atrair investidores e o Plano Nacional de Logística Reversa seja, de fato, implementado (VIEIRA e ARAÚJO, 2021).

Essas políticas públicas ligadas a área de Resíduos buscam estímulos para a captura desse metano e a sua conversão em Biometano que tendo a sua importância econômica reconhecida agrega valor a matriz energética de duas formas, pela prevenção da emissão e pelo aumento na capacidade de produção de energia.

Já com relação ao Grupo Agricultura, o Programa ABC (Agricultura de Baixa emissão de Carbono) é uma Política Pública, um programa do Governo Federal para promover boas práticas para a Agricultura, Pecuária e Agropecuária para a redução das emissões de Gases de Efeito Estufa. Faz parte do plano os seguintes programas a Recuperação de Pastagens Degradadas, a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta e Sistemas Agroflorestais, o Sistema Plantio Direto, a Fixação Biológica do Nitrogênio, as Florestas Plantadas, o Tratamento de Dejetos Animais e a Adaptação a Mudanças Climáticas (EMBRAPA, 2021).

Um dos maiores impactos nas emissões de GEE no Brasil são as queimadas, e estas ocorrem apesar do monitoramento feito pelo Instituto de Pesquisas Espaciais, INPE e da existência de legislação de políticas públicas (SEEG, 2021) (INPE, 2022).

Um dos problemas principais é a implementação e a fiscalização dessas políticas, o que não deve ganhar impulso sem a participação ativa da sociedade como um todo. Por este motivo a importância da ampliação do Programa Brasileiro de Etiquetagem para a parte de Emissões, pois daria ao consumidor uma visão mais clara sobre as emissões relacionadas ao produto adquirido (BALBINO CARDOSO, HORTA NOGUEIRA, et al., 2009).

A adesão de negócios relacionados a Agropecuária, Agricultura e Pecuária ao Plano ABC, deveria ser mandatária, com fiscalização e penalidades para quem não atingir metas estabelecidas pelo Plano, e da mesma forma incentivos como linhas de financiamento para adequação deveria ser oferecida (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2021).

É importante mencionar o programa REDD+, do Inglês *Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation, and the role of Conservation of Forest Carbon Stocks, Sustainable Management of Forests and Enhancement of Forest*

Carbon Stocks, ou seja, Redução de Emissões de Desflorestamento e Degradação de Florestas, que é um programa da Convenção da Nações Unidas para Mudanças Climáticas da qual o Brasil faz parte e tem a função de gerar benefícios financeiros para Países em desenvolvimento que demonstrem resultados em combater o desmatamento e em melhorias de cobertura florestal. O Brasil tem um programa do Ministério do Meio Ambiente chamado ENREDD, onde o EN significa Estratégia Nacional (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2016).

2.7 MERCADO DE CRÉDITO DE CARBONO E A ECONOMIA DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

A ideia inicial de um mercado de crédito de carbono surgiu na primeira reunião global sobre o clima, após queda da União Soviética, na ECO92, no Rio de Janeiro. Após vários anos, diversas mudanças já foram feitas para aperfeiçoar essa política. A maturidade deste Projeto foi alcançada durante a COP26 na Escócia. Cada tonelada de CO₂e equivale a 1 crédito de carbono, por convenção (UNITED NATIONS, 2022).

A ideia dos créditos de carbono é a venda do excedente da cota de emissões para outros países. Dessa forma, países com menos oportunidades geográficas ou climáticas, para atingir as suas metas, podem fazer investimentos em outros países, em iniciativas que reduzam ainda mais as emissões para cada um deles, gerando, créditos para si (JUSTINO, 2021).

Por trás dessa ideia está o conceito de compensação, ou seja, caso dada indústria ou País não tenha meios tecnológicos para reduzir as emissões, este pode através de uma certificadora negociar créditos de carbono que garantem que o carbono que foi emitido foi compensado através de um projeto em algum outro lugar (LOPES, RICCI, et al., 2015).

Esse mercado tem movimentado, até 2020, cerca de 1 trilhão de reais. Com grande crescimento previsto ainda para este ano, a Câmara Brasileira de Comércio Internacional (ICC Brasil), estima que o Brasil possa captar cerca de 500 bilhões de reais até 2030. Esse mercado divide-se em dois tipos de comércio: o mercado voluntário e o mercado regulado. Na atualidade o Mercado Europeu é responsável por cerca de 90% de toda comercialização de crédito de carbono do mundo, o que

tende a aumentar com a expansão do mercado regulado para a China (ONDEI, 2021).

O mercado voluntário é formado por empresas comprometidas que buscam créditos de quem é capaz de provar que consegue remover carbono da natureza. Essas empresas negociam certificados de créditos de carbono com outras. Já o mercado regulado é regulamentado pelo governo, para que empresas tenham compromissos de redução de emissões carbono equivalente (ESTADÃO, 2022).

Um exemplo recente sobre o mercado voluntário de créditos de carbono, foi a iniciativa do Banco do Brasil em realizar uma licitação para a compra de créditos de carbono para compensar o uso de veículos corporativos, ar-condicionado e combustível para geradores de energia elétrica. O volume desta negociação arcabouço 55 mil toneladas de CO₂ por um valor de R\$ 1,08 milhão de reais ou R\$ 19,64 reais por tonelada de CO₂ (RUDDY, 2021).

3 DETALHAMENTO DAS METODOLOGIAS

3.1 METODOLOGIA DA PESQUISA

Para que o alcance dos Objetivos deste trabalho, devidamente listados no Capítulo I, Introdução, pudesse ser comprovado, foram utilizados Métodos de Pesquisa. Estes Métodos de Pesquisa podem ser classificados utilizando enfoques diferentes, que ora são elucidados.

3.2 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A classificação de uma pesquisa necessita de vários fatores, indo do problema que será estudado, da situação em relação ao espaço-tempo que se encontra, da sua natureza e do nível de conhecimento do pesquisador. A pesquisa científica objetiva entender cientificamente uma ou mais particularidades de um certo assunto. Para tal, a pesquisa necessita ser metódica, sistemática e crítica. O resultado da pesquisa científica deve favorecer o crescimento do conhecimento humano. A pesquisa na vida acadêmica permite estimular o espírito investigativo nos problemas e trabalhos propostos pelos orientadores e professores, existindo várias maneiras das pesquisas serem classificadas (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Segundo a Natureza essa pesquisa se classifica como Pesquisa Aplicada pois teve o seu objetivo de criar conhecimentos para o uso prático direcionado a solucionar o dilema da transição energética para o Brasil.

Em relação aos objetivos a pesquisa pode ser considerada como exploratória, uma vez que trata de um tema conhecido, sob novo aspecto. A transição energética é um assunto considerado crescente com novos fatos e acontecimentos diários, o que têm gerado mudanças constantes. Além disso trata-se de um assunto onde são geradas diversas especulações, não dando a clareza esperada para o tema. Pode ainda ser considerada como descritiva, pois usa e correlaciona dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) com os dados da Agência Internacional de Energia (IEA), proporcionando uma maior visão e entendimento sobre o assunto. Os dados foram retirados de várias publicações e são conhecidos pelos pesquisadores do assunto. Por este motivo, não deixa de ser,

também, Explicativa, pois procura explicar esclarecer os porquês das decisões relacionadas a transição energética no contexto nacional.

Classificando a pesquisa de acordo com a Abordagem, ela é considerada Triangular, ou seja, parcialmente qualitativa e parcialmente quantitativa simples. A Abordagem é também conhecida como mista, usando informações quantitativas (dados já coletados e conhecidos) e qualitativas (quando por exemplo nas análises de SWOT e das Forças de Porter).

Em relação ao procedimento técnico, ou seja, em relação a forma de obtenção de dados para a pesquisa, os métodos utilizados foram:

- Documental: por meio do uso de documentos e publicações, escritas ou não, e coleta de dados de diversas fontes, como a Agência Internacional de Energia e do Painel do Clima;
- Pesquisa Bibliográfica: uma vez que se utiliza de livros e artigos científicos e promove o debate entre diferentes autores;
- Experimental: pois, aplica os dados documentais e bibliográficos em ferramentas como o DMAIC e o SWOT para produzir resultados;
- Levantamento (*Survey*): uma vez que apresenta uma descrição de abordagem quantitativa ou numérica de tendências sobre as emissões de gases de efeito estufa, e

Em respeito a influência do pesquisador é Experimental pois emprega as diferentes ferramentas para comparar os resultados.

3.2.1 Coleta de Dados

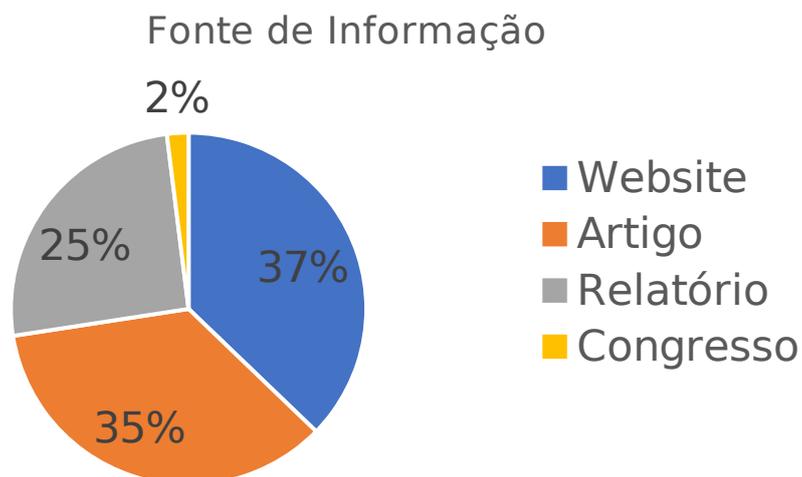
A coleta de dados objetiva encontrar informações da realidade, definindo a fonte a ser utilizada, juntando dados e utilizando técnicas. Nesta etapa define-se o tipo de pesquisa, a amostragem, o universo, os instrumentos de coleta de dados e a maneira que se pretende classificar e analisar seus dados (PRODANOV; FREITAS, 2013).

A coleta de dados é composta e formada pelo conhecimento da realidade, que deve ser explicada utilizando dados relacionados aos fenômenos investigados na pesquisa. Esta é a etapa que define com mais clareza o trabalho de pesquisa científica (REIS, 2009).

3.2.1.1 Fonte de Informação

Para a pesquisa foram utilizadas fontes de congressos, relatórios, artigos e diversos tipos de fontes da internet, por se tratar de um tema bem recente houve um domínio de fontes de internet.

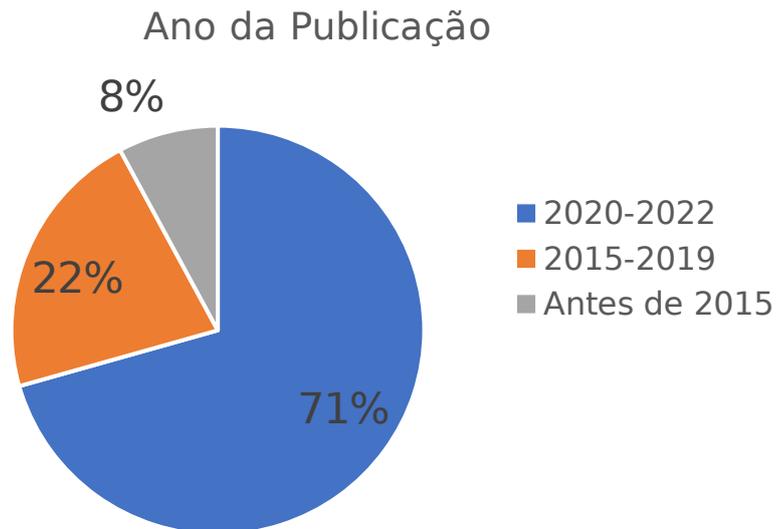
Gráfico 6 – Fontes de Informação



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

Mais de 70% das informações foram publicadas após 2020, e mais de 92% após 2015, ano do acordo de Paris – sendo que o ano de 2020 foi o ano em que regras do acordo de Paris tornaram-se obrigatórias, explicando assim a maior densidade de dados disponíveis.

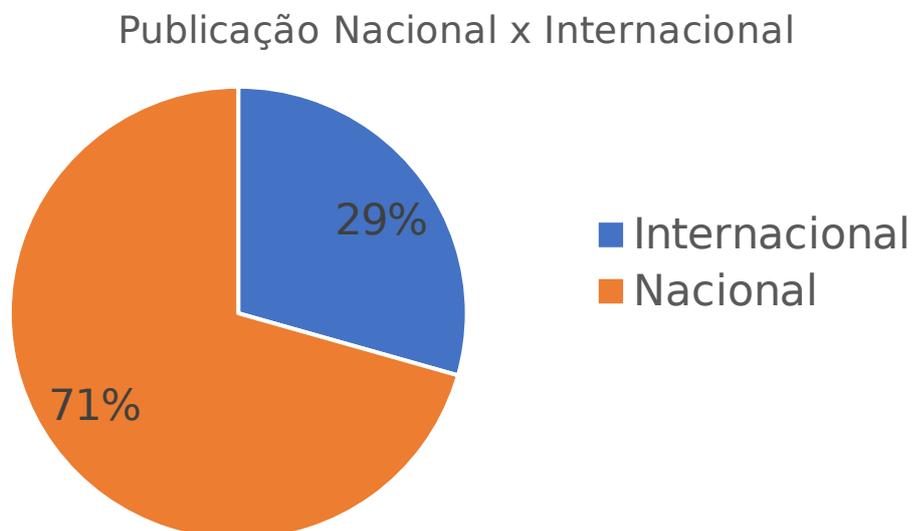
Gráfico 7 – Ano de publicação



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

Dado o enfoque da pesquisa no cenário nacional a maior parte dos dados estava em português e foram usados dados locais do Painel do Clima, da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) além de leis, decretos e projetos de lei.

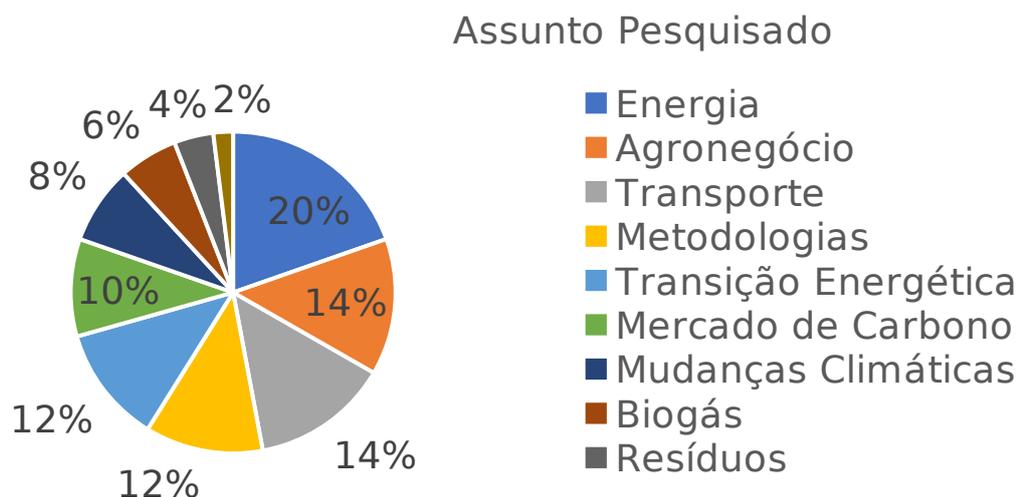
Gráfico 8 – Distribuição por Idioma



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

Diversos foram os assuntos pesquisados para o entendimento sobre o tema, dentre eles: energia, agronegócio, transporte, metodologias, transição energética, mercado de carbono e mudanças climáticas. A diversidade de temas contribuiu para uma visão mais ampla do tema pesquisado.

Gráfico 9 – Assuntos Pesquisados



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

3.3 METODOLOGIAS TÉCNICAS

Este trabalho utilizou dois tipos de metodologias: a Metodologia da Pesquisa Científica, apresentada no primeiro tópico deste Capítulo e as Metodologias ou Procedimentos Técnicos, que são instrumentos de análise das informações obtidas ao longo da dissertação. As Metodologias ou Procedimentos Técnicos são instrumentos já conhecidos no meio organizacional ou empresarial, criadas por pesquisadores renomados, sendo utilizadas por muitos profissionais como forma de corroborar os resultados obtidos. Vem sendo utilizadas há anos, reforçando a factibilidade dos dados apresentados nos trabalhos científicos.

Como forma de não alongar o Capítulo 2, a descrição das Metodologias Técnicas foi colocada como segundo Tópico deste Capítulo. Com esta ação, houve também o objetivo de manter o escopo da Revisão de Literatura, uma vez que ela, da forma como está, atenderia de melhor forma o alcance deste tipo de metodologia de pesquisa.

As Metodologias Técnicas foram utilizadas no trabalho como forma de consolidação dos dados obtidos na Pesquisa Bibliográfica e Pesquisa Documental, sendo complementada pela Pesquisa Experimental, na comprovação da Hipótese do trabalho.

3.3.1 As Forças de Porter

As cinco forças de Porter vêm de um modelo proposto por Michael Porter em 1980, para analisar o ambiente externo onde uma empresa está inserida, e dessa forma entender a competitividade, sua concorrência, lucratividade e definir se vale a pena investir: quanto maiores as forças, maior a chance do mercado ser competitivo.

Essas forças são: a rivalidade entre os concorrentes, o poder de barganha dos fornecedores, a ameaça de produtos substitutos, a entrada de novos concorrentes, e o poder de barganha dos clientes.

A rivalidade entre os concorrentes tem o foco em entender o que as empresas presentes no mercado já fazem, quais os seus investimentos e qual o seu diferencial para poder se destacar.

O poder de negociação com os fornecedores analisa qual a dependência que se tem do fornecedor, o que poderia acontecer no caso de aumento de preços deste e como se proteger em diferentes cenários, e se pensar em uma rede de fornecedores substitutos em caso de necessidade.

A ameaça de produtos ou serviços substitutos, tende a estudar quais produtos poderiam vir a entrar no mercado e afetar a competitividade ou ainda mesmo ameaçar a própria existência da empresa – e com isso desenvolver a estratégia de como melhor defender a existência do seu produto e serviço.

A entrada de novos concorrentes busca entender de que formas a organização pode melhor se preparar contra a entrada de novas empresas, seja pela prestação de serviços diferenciados, ou através da criação de uma boa relação com clientes, preços, contratos de exclusividade, patentes e marcas.

O poder de negociação dos clientes estuda a capacidade que estes têm de influenciar o preço do mercado, e dessa forma afetar a margem de lucro da empresa.

Com o entendimento desses elementos pode-se conhecer a capacidade de sucesso da empresa, mas para este estudo as forças de Porter servirão para entender as forças de Porter na perspectiva da Transição Energética no Brasil.

3.3.2 DMAIC & Lean Manufacturing

3.3.2.1 DMAIC

DMAIC é uma metodologia ou estrutura de resolução de problemas que faz uma de uma variada gama de ferramentas em conjunto, o que contribui para um processo de decisão mais acertado. Esse conceito foi inicialmente pensado em um ambiente de fabricação e seu uso foi ampliado para diversas outras indústrias e aplicações, e tem uma dependência grande de indicadores ou KPIs. O Método DMAIC é composto de 5 etapas: Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar (ACOSTA-VARGAS, CHICAIZA-SALGADO, et al.).

Cada etapa pode fazer o uso de diferentes ferramentas de acordo com a necessidade do usuário, mas de forma geral:

- Definir (*Define*), busca-se definir e classificar o problema, e uma das ferramentas mais comuns para isso é o 5W1H, ou seja, 'O que', 'Porque', 'Quando', 'Onde', 'Quem' e 'Como', ou ainda os Diagramas de Fluxo de Processo e o Diagrama de SIPOC – Supridores (S), Entrada (I), Processo (P), Saída (O) e Cliente (C);
- Na etapa Medir (*Measure*) busca-se entender mais sobre a frequência, relevância e impacto do problema; em alguns casos avalia-se também o próprio sistema de medição que está impactando no resultado. Uma ferramenta muito comum nessa etapa é o gráfico de Pareto, Gráficos de Controle e Análises de Custo, além do Diagrama de Variáveis que afetam o problema. Nessa esta já podem ser

definidas algumas ações de ganho rápido de acordo com o uso do *Lean*;

- A Análise (*Analyze*) é onde o problema é analisado, entendido, e busca-se entender a causa raiz do objeto de estudo, que normalmente não é só uma, e necessita ser priorizada. Nessa etapa as ferramentas comuns são a Análise dos Porquês, o Diagrama de Ishikawa, normalmente em conjunto com o 6M (Máquina, Método, Medida, Mão de Obra, Ambiente e Material), e a Árvore de Falhas, e com base nessas conclusões são desenvolvidas as soluções;
- A definição das soluções já é parte da etapa de Melhora, ou do inglês *Improve*, de onde vem a representação com a letra 'I'. Existem basicamente 3 tipos possíveis de ações como resultado dessa etapa: ações corretivas – relacionadas diretamente a uma das causas do problema, ações preventivas – relativas a problemas sem causa diretamente confirmada ou associada ao problema. As oportunidades de melhora são relacionadas a outros fatores encontrados durante o estudo do problema não diretamente relacionados com este. O 5W2H é uma ferramenta mais usada nesta fase, onde o novo 'H' é o 'Quanto';
- Controle (*Control*), é a fase em que as ações definidas são implementadas e é feito o monitoramento do parâmetro definido na fase de medição para confirmar ou não a efetividade das ações.

3.3.2.2 *Lean Manufacturing*

O *Lean* é uma filosofia de gestão nascida no Japão nas mãos de um engenheiro que buscava melhorar a produtividade dos processos através de diferentes ferramentas e data de 1930 do que era conhecido como o jeito Toyota.

Dentro da fabricação, o conceito de *Lean* tem o objetivo de identificar desperdício, sobrecarga e variabilidade, com foco na melhoria de otimização e melhoria de processo – eliminando atividades que não geram valor para o produto ou serviço. No processo *Lean*, as ferramentas mais comuns são o evento de Kaizen,

o Mapeamento de Fluxo de Valor (VSM) e o 5S (utilização, organização, limpeza, normatização e autodisciplina).

Para o caso de estudo desse trabalho a ferramenta de *Lean* será empregada como ferramenta de análise para avaliar os ganhos mais rápidos para a transição energética sustentável no Brasil.

3.3.3 A análise de SWOT e o Diagrama de Pareto

Assim como as forças de Porter, a análise de SWOT é utilizada durante a fase de planejamento estratégico para avaliar fatores positivos e negativos, internos e externos, ou seja, a análise ajuda a entender as Forças (S) e Fraquezas (W), relacionadas a questões internas da empresa ou questão de estudo, as Oportunidades (O) e Ameaças (T), relacionadas aos fatores externos.

Ao se pensar na estratégia, deve-se considerar formas de maximizar forças e oportunidades para ser mais competitivo ou ainda neutralizar fraquezas e ameaças, e ainda estabelecer planos de ação para melhorar as fraquezas e para transformar ameaças em oportunidades.

O Diagrama de Pareto é um Histograma que relaciona a frequência de ocorrência da maior para a menor em um determinado caso de estudo. Vilfredo Pareto, o economista, observou que 80% das terras na Itália pertenciam a 20% da população, a analogia pode ser observada em outras ciências, o que indicava que que 20% das causas podem resolver 80% dos problemas.

Além disso, esse termo foi amplamente usado por Joseph Juran na década de 1990 e ficou conhecido como o 'Gráfico de Pareto'.

3.3.4 Consolidação dos Dados de Pesquisa

3.3.4.1 Regressão Usando o MINITAB

O software Minitab foi utilizado nesse trabalho para a comparação de variáveis de causa e efeito, e com isso tentar entender quais variáveis possuíam correlação com o problema estudado, no caso emissões de gases de efeito estufa, principalmente, uma vez que os gases de efeito estufa são a principal motivação da

transição energética. Os métodos foram de regressão simples e múltipla (até 5 variáveis por análise) e tanto para relação linear como não linear (MINITAB, 2022).

As informações obtidas na realização da regressão foram colocadas no trabalho logo abaixo das figuras que apresentam os resultados, figuras de 1 a 7 e de 9 a 11, optou-se por esclarecer aqui o que foi feito por ser o capítulo da metodologia, mas colocar toda a informação abaixo de cada figura para acesso e entendimento direto do leitor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dentro do contexto chave dessa Dissertação é entender quais foram as decisões tomadas, no país, que compuseram a história da transição energética e, neste caso, qual seria o melhor caminho para o Brasil nesse cenário global. Conforme apresentado no Capítulo 3, uma das ferramentas que auxiliaria na apresentação do qual seria o melhor caminho, será a da ferramenta DMAIC.

Serão apresentadas as etapas que compõem a ferramenta e a aplicação de cada etapa em cada uma das situações de transição energética presentes no país.

4.1 DEFINIR (*DEFINE*)

Para a definição do problema é preciso retornar a questão de pesquisa original: ‘Considerando o contexto de tecnologias existentes e a busca por formas de compensação de emissões de carbono, qual seria o melhor caminho para a transição energética no Brasil?’.

Assim sendo, para facilitar a análise, essa questão será desmembrada em duas: a primeira seria relacionada ao entendimento das emissões no Brasil, para que se possa compensar e fazer uma transição energética; e a segunda seria relacionada a: como o Brasil poderia ter sustentabilidade nesse processo, ou seja, de que forma essa transição pode ser contínua. Então, faz-se necessária a utilização da ferramenta 5W1H o que resulta a definição das seguintes questões:

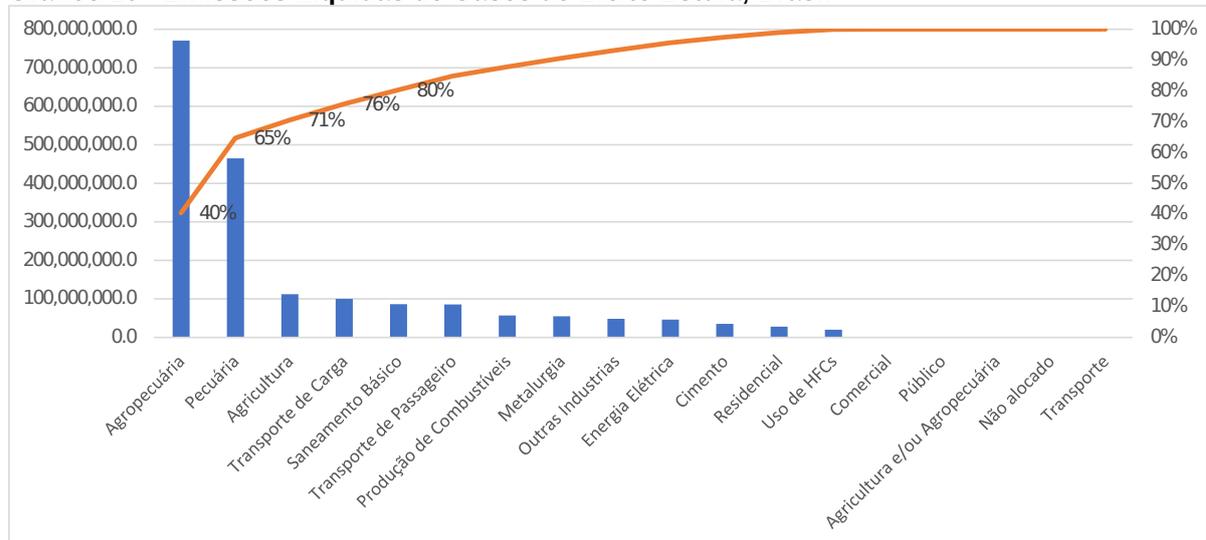
- Quais são as maiores emissões de gases do efeito estufa e como o Brasil deve atuar para a sua redução?
 - o O que? (*What?*): Entender quais são os maiores emissores de gases de efeito estufa no Brasil,
 - o Por quê? (*Why?*) Definir ações que possam contribuir para a redução das emissões,
 - o Quando? (*When?*) Ações a serem tomadas imediatamente,
 - o Onde? (*Where?*) Brasil,
 - o Quem (*Who?*) Empresas e população,

- o Como? (*How?*) Análise da bibliografia consultada.
- Como o Brasil pode aproveitar-se do cenário global de transição energética para crescer?

4.2 MEDIR (*MEASURE*)

A ferramenta que mais pode ajudar a medir o problema nesse estágio é o Diagrama de Pareto. E dessa forma, em termos de emissões tem-se como os 6 maiores emissores, que representam 80% das emissões: a agropecuária, a pecuária, a agricultura, o transporte de carga, o saneamento básico e o transporte de passageiros.

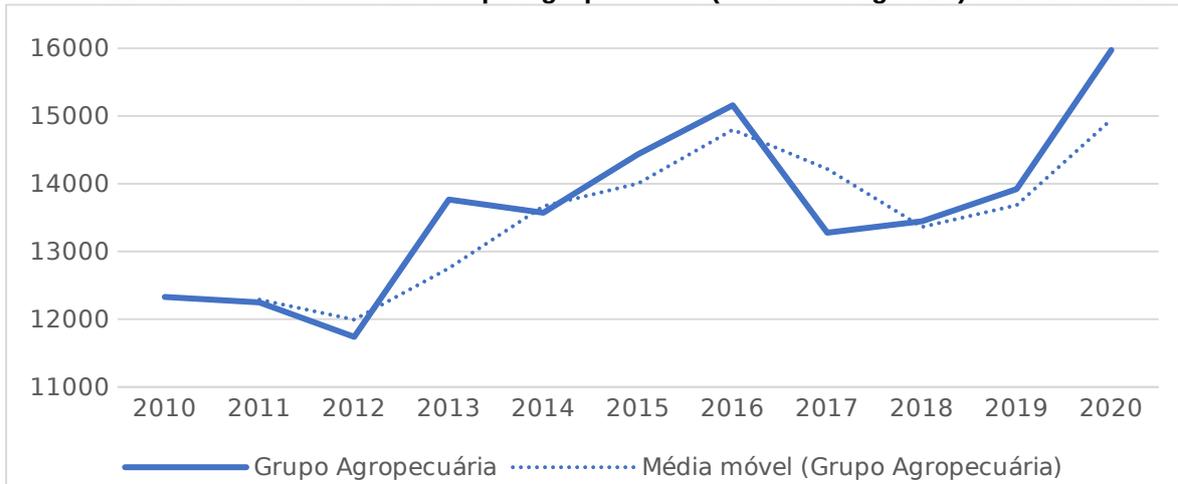
Gráfico 10 - Emissões Líquidas de Gases de Efeito Estufa, Brasil



Fonte: (SEEG, 2020)

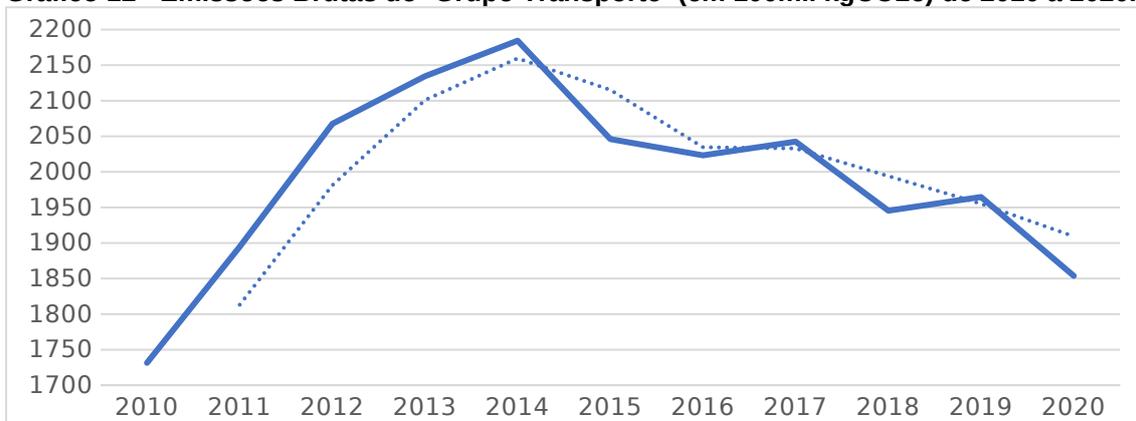
Porém estarão agrupados em apenas 3 Grupos: a Agropecuária, que contemplará as atividades de agropecuária, pecuária e agricultura; o Transporte que tratará a questão do transporte de carga e de transporte de passageiros e por último a parte de Resíduos que contempla a parte de saneamento básico, mas por uma questão de simplificação de análise terá um foco mais amplo.

O Gráfico 11 mostra as emissões brutas de GEE para o 'Grupo Agropecuária' entre 2010 e 2020, e uma tendência expressiva de alta é observada entre 2019 e 2020 (13%), a segunda maior desde 2012 e 2013 (15%) na série.

Gráfico 11 - Emissões Brutas do 'Grupo Agropecuária' (em 100mil kgCO2e) de 2010 a 2020.

Fonte: (SEEG, 2020)

O Gráfico 12 mostra a tendência de queda das emissões do 'Grupo Transporte', onde vem sendo realizados estímulos quanto ao uso do etanol e a sua adição a gasolina, além de recuperações de estradas, emplacamento de veículos a Gás Natural, entre outras ações tomadas.

Gráfico 12 - Emissões Brutas do 'Grupo Transporte' (em 100mil kgCO2e) de 2010 a 2020.

Fonte: (SEEG, 2020)

Na Tabela 6 é possível visualizar que até 2014 o percentual de etanol na gasolina poderia estar entre 18 e 25%, e desde 2015 passou a ser de 27%, conforme estabelecido por lei (FUSSY, 2015).

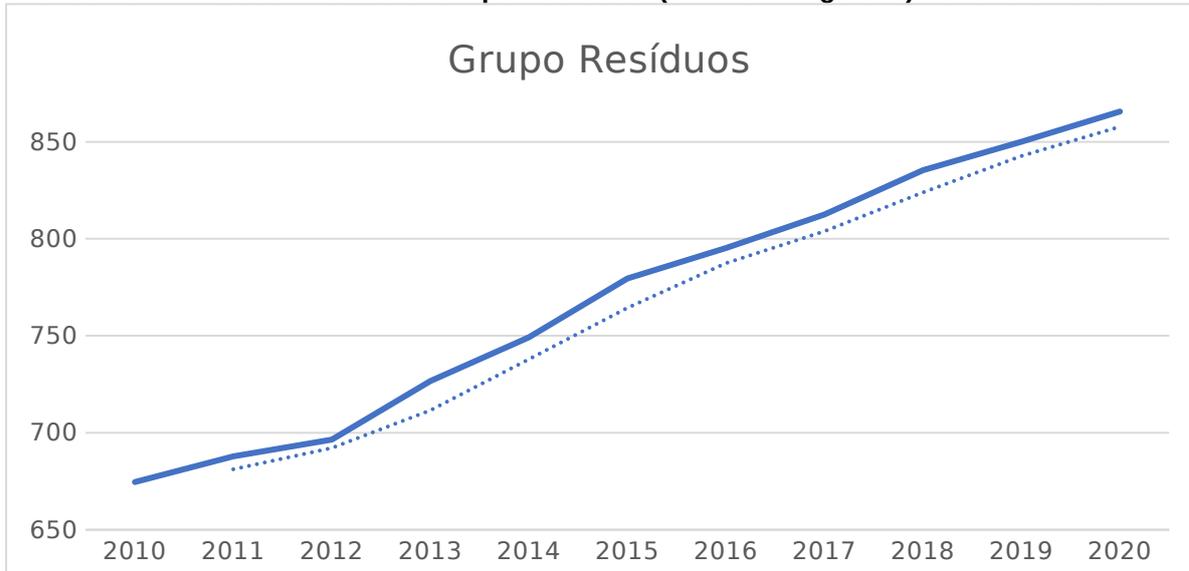
Tabela 6 – Composição percentual de biocombustíveis no diesel e na gasolina, considerados os percentuais mínimos estabelecidos por lei.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Biodiesel no Diesel	2%	4%	5%	5%	5%	5%	7%	7%	7%	8%	10%	11%	12%
Etanol na Gasolina	20%	20%	20%	18%	18%	18%	18%	27%	27%	27%	27%	27%	27%

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022), com base em dados de (FUSSY, 2015) e (ANP, 2021)

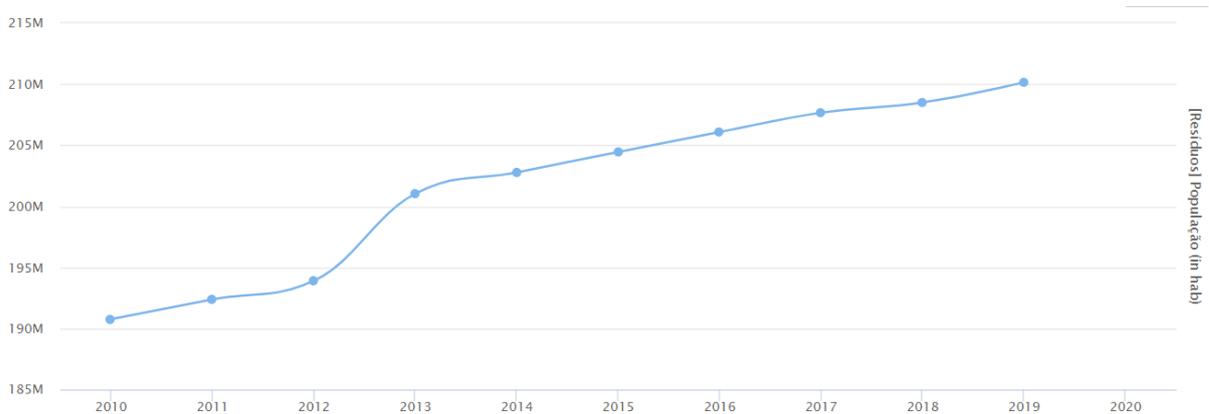
O Gráfico 13 trata do 'Grupo de Resíduos', onde observa-se um crescimento constante das emissões, o que pode estar relacionado com o aumento da população e a necessidade de investimentos em políticas de saneamento básico e captura de metano.

Gráfico 13 - Emissões Brutas do 'Grupo Resíduos' (em 100mil kgCO₂e) de 2010 a 2020.



Fonte: (SEEG, 2020)

Ao observar o gráfico 13 e o gráfico 14, observa-se que o crescimento das emissões do 'Grupo Resíduos' toma forma linear até 2012, porém o gráfico de população, 14, mostra uma certa tendência de estabilidade enquanto as emissões seguem subindo, o que pode demonstrar a falta de estruturas para suportar esse crescimento.

Gráfico 14 – Crescimento da população brasileira, valores em milhões de habitantes

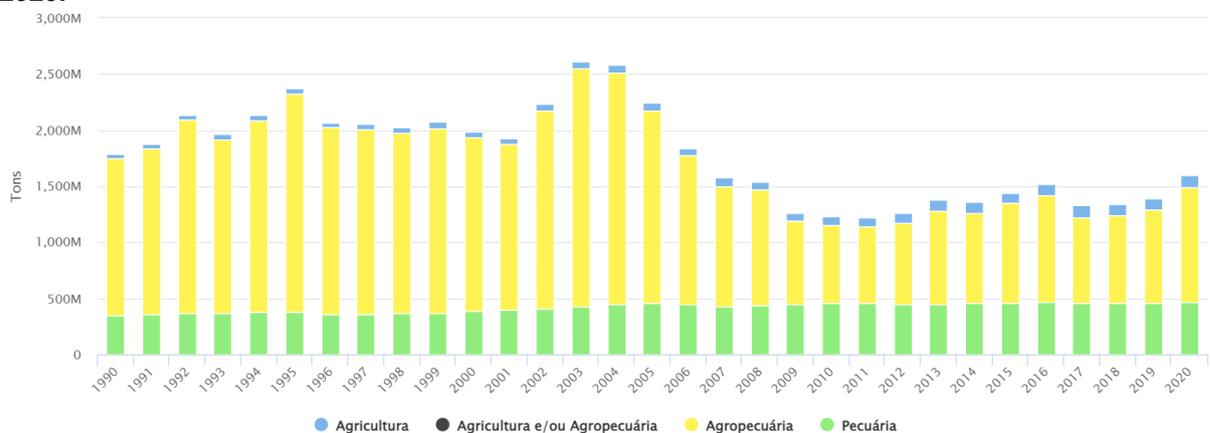
Fonte: (SEEG, 2020)

4.3 ANALISAR (ANALIZE)

Nessa etapa o estudo estará focado nas causas raízes das 3 áreas previamente identificadas: o 'Grupo Agropecuário', o 'Grupo Transporte' e o 'Grupo Resíduos'.

4.3.1 Agropecuária

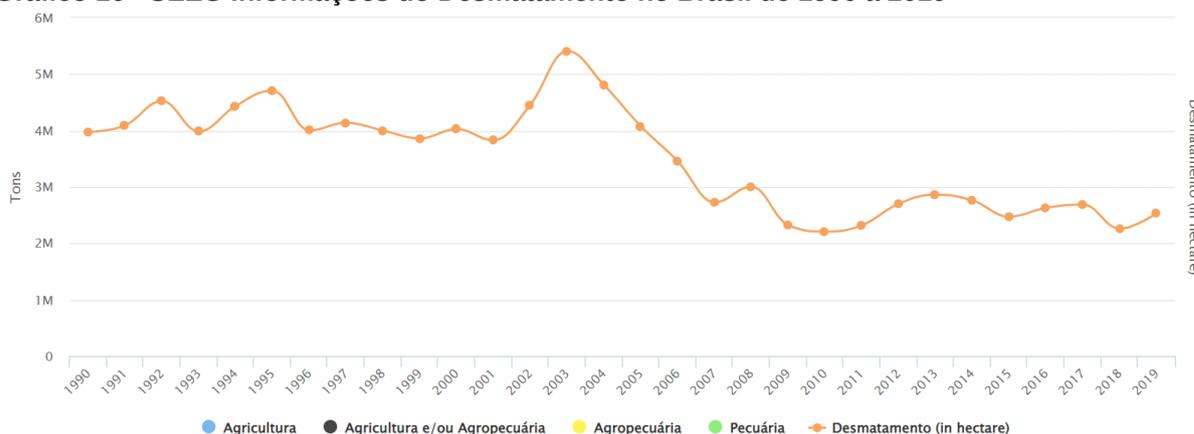
O Gráfico 14 mostra a variação das emissões desse grupo ao longo do tempo. O ponto que mais se destaca no grupo é que a agricultura tem muito pouco impacto quando comparado com o todo e que sim a pecuária ou está associada a agricultura, definida como agropecuária a que mais está relacionada as emissões.

Gráfico 15 - Emissões Brutas do grupo definido como agropecuária para o Brasil de 1990 a 2020.

Fonte: (SEEG, 2020)

Dentre as variáveis comparadas, as emissões do 'Grupo Agropecuária', a que aparece como potencialmente mais relevantes é o 'Desmatamento'. Para comprovar esta observação, o Gráfico 15 mostra o 'Desmatamento', no mesmo período estudado. É importante observar que as tendências dos gráficos 14 e 15 são muito similares.

Gráfico 16 - SEEG Informações do Desmatamento no Brasil de 1990 a 2019

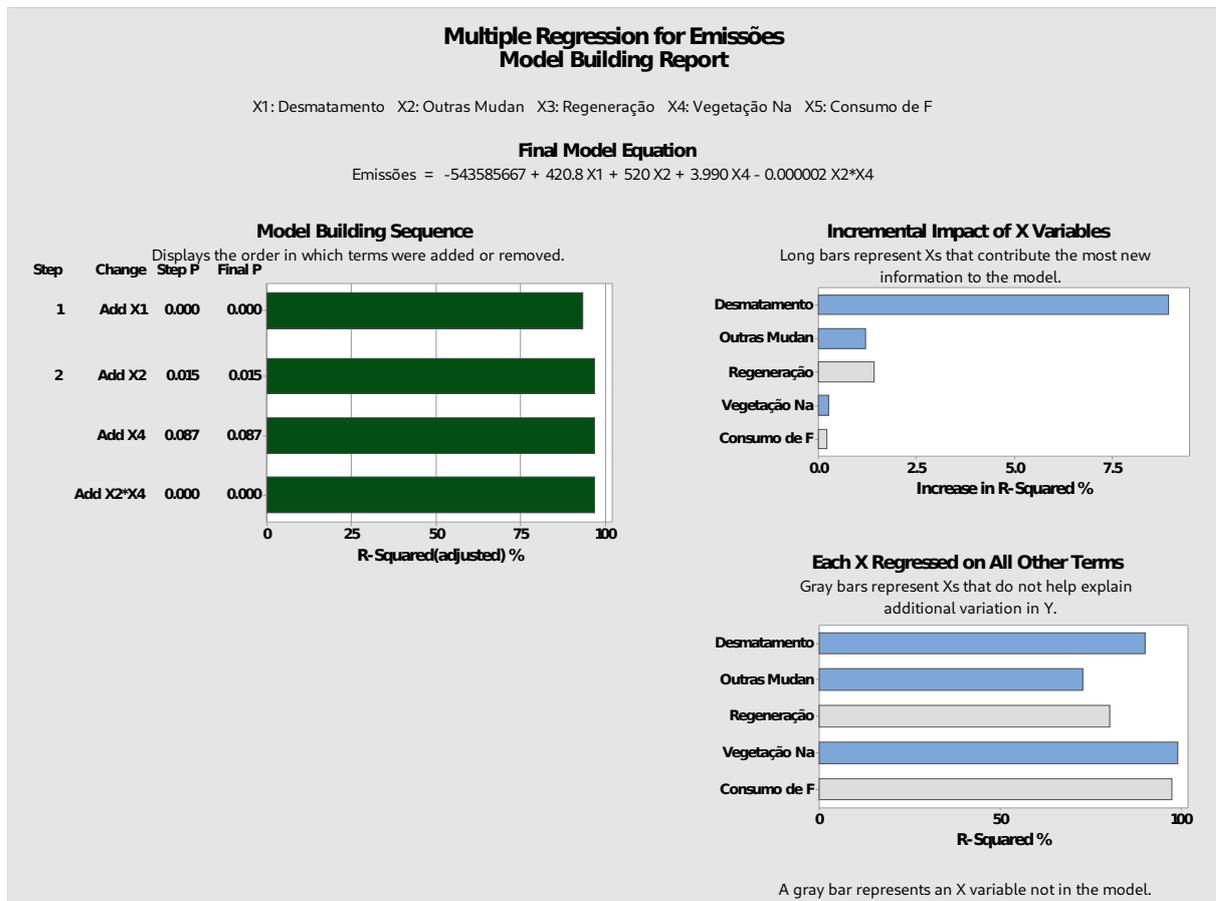


Fonte: (SEEG, 2020)

O SEEG considera as seguintes variáveis para análise desse grupo: o desmatamento, outras mudanças no uso da terra, regeneração da vegetação nativa, a vegetação nativa estável, o consumo de fertilizante nitrogenados (que pode levar a emissão de Óxido Nitroso, com potencial de efeito estufa 310 vezes maior que o CO₂), a produção de açúcar, a produção de cana de açúcar, a produção de carne bovina, produção de leite, produção de milho, produção de soja, produção de álcool, o rebanho bovino de corte e o rebanho bovino de leite.

Uma regressão foi feita para entender o comportamento das variáveis contra o resultado de emissões do grupo aqui denominado agropecuária. Na primeira análise foram consideradas as seguintes variáveis: desmatamento, outras mudanças no uso da terra, regeneração da vegetação nativa, a vegetação nativa estável, o consumo de fertilizante nitrogenados, tendo como resultado a análise representada nas Figuras 1 e 2:

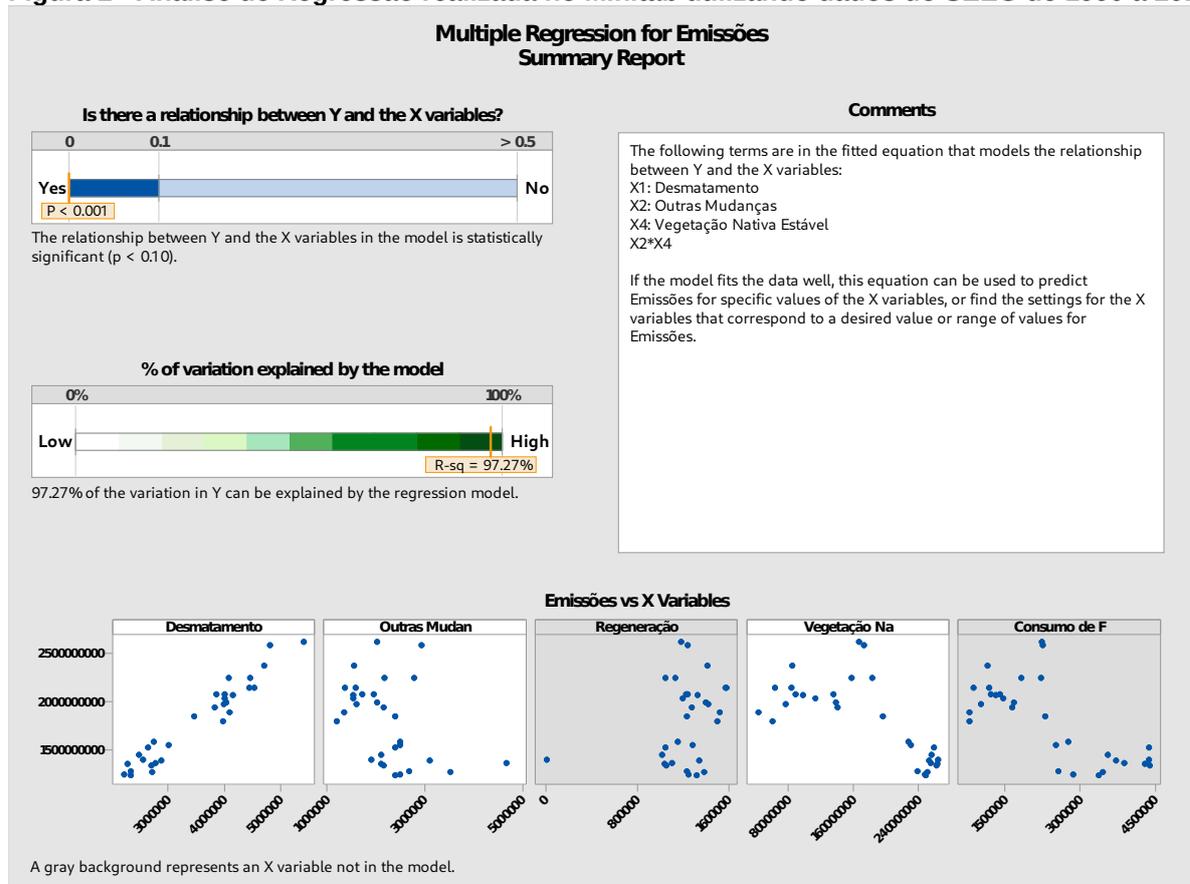
Figura 1 - Análise de Regressão realizada no Minitab utilizando dados do SEEG de 1990 a 2019



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022), com base em dados do (SEEG, 2020)

Na Figura 1 são apresentados três gráficos principais: *Model Building Sequence*, Sequência de Construção do Modelo, à esquerda e acima em cada figura, que mostra o grau de contribuição de cada variável para a construção do modelo; *Incremental Impact of X Variables*, Impacto Incremental das Variáveis X, a direita e acima em cada figura – mostra as variáveis que mais contribuem para a construção do modelo – barras mais longas; *Each X Regressed on All Other Terms*, Variáveis X que tem maior impacto na regressão, a direita e abaixo – mostra em cinza variáveis que não explicam o comportamento de Y. Na Figura 1 estão correlacionadas as emissões do ‘Grupo Agropecuária’ com Desmatamento, Outras Mudanças no uso da terra, Regeneração, Vegetação Nativa e Consumo de Fertilizantes.

Figura 2 - Análise de Regressão realizada no Minitab utilizando dados do SEEG de 1990 a 2019

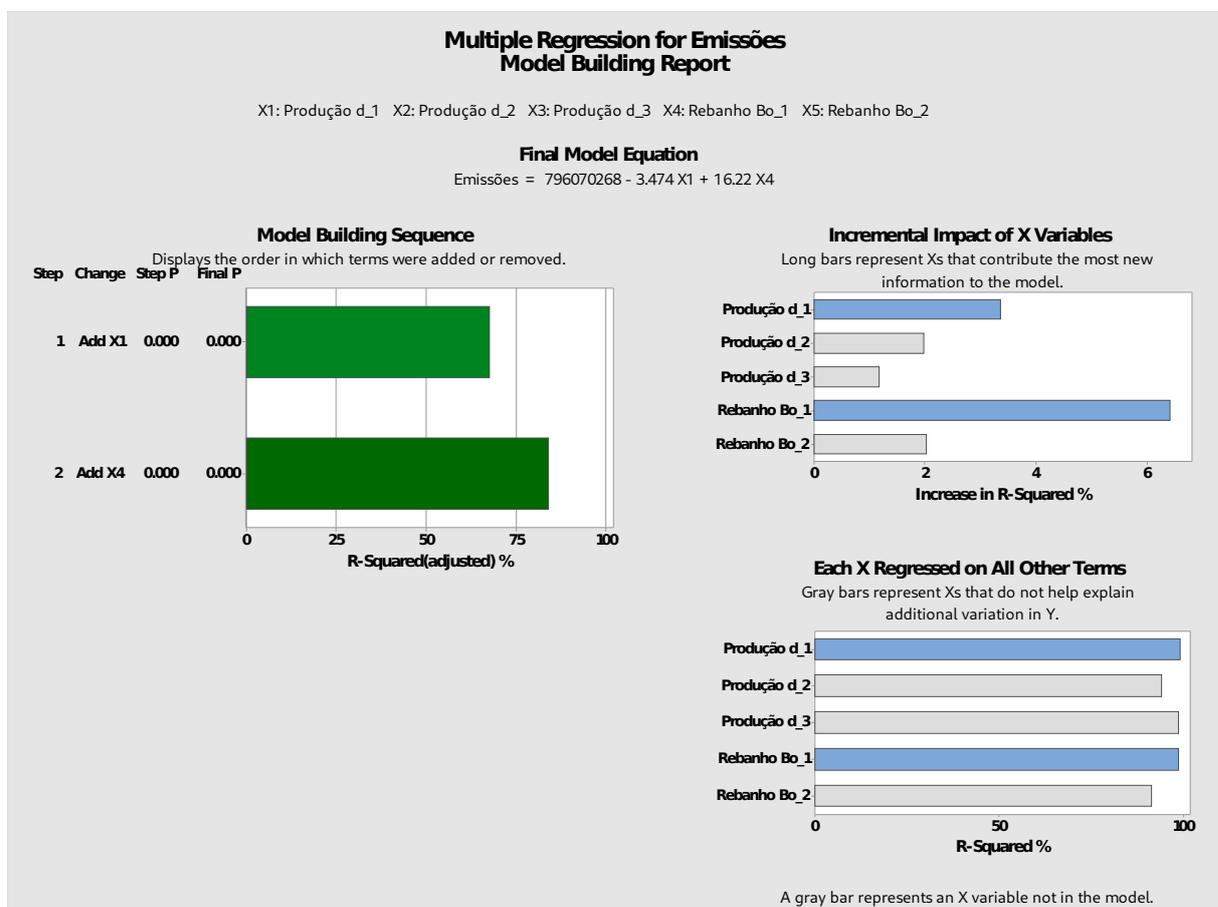


Fonte: Elaborado pelo Autor (2022), com base em dados do (SEEG, 2020)

A Figura 2 possui os seguintes gráficos: *Is there a relationship between Y and the X variables?*, ou seja, há relação entre Y e as variáveis X? – Gráfico que procura mostrar se o valor p é menor que alfa, o que indicaria uma correlação estatisticamente significativa entre as variáveis; *% of variation explained by the model*, % da variação explicado pelo modelo – Gráfico que mostra o quanto da variação em Y é explicado pelas variáveis X no modelo, e por fim na parte de baixo de cada uma das Figuras é possível observar alguns gráficos de dispersão correlacionando cada variável X com o Y, a fim de se visualizar a relação entre as variáveis. É importante notar que nem sempre a relação será visível nesses gráficos de dispersão, pois nem toda regressão é linear, porém o software representa nesses gráficos com fundo cinza variáveis que foram testadas e não incluídas no modelo. Na Figura 2 estão correlacionadas as emissões do ‘Grupo Agropecuária’ com Desmatamento, Outras Mudanças no uso da terra, Regeneração, Vegetação Nativa e Consumo de Fertilizantes.

Segundo as informações apresentadas as variáveis que mais afetam o resultado são o desmatamento e as mudanças no uso da terra. Na segunda análise as seguintes variáveis foram comparadas com as emissões: Produção de Cana de Açúcar, Produção de Milho, Produção de Soja, Rebanho Bovino de Corte e Rebanho Bovino de Leite. As Figuras 3 e 4 demonstram o resultado, que mostra maior relevância na produção de cana de açúcar e no tamanho do rebanho bovino de corte.

Figura 3 – Análise de Regressão realizada no Minitab utilizando dados do SEEG de 1990 a 2019

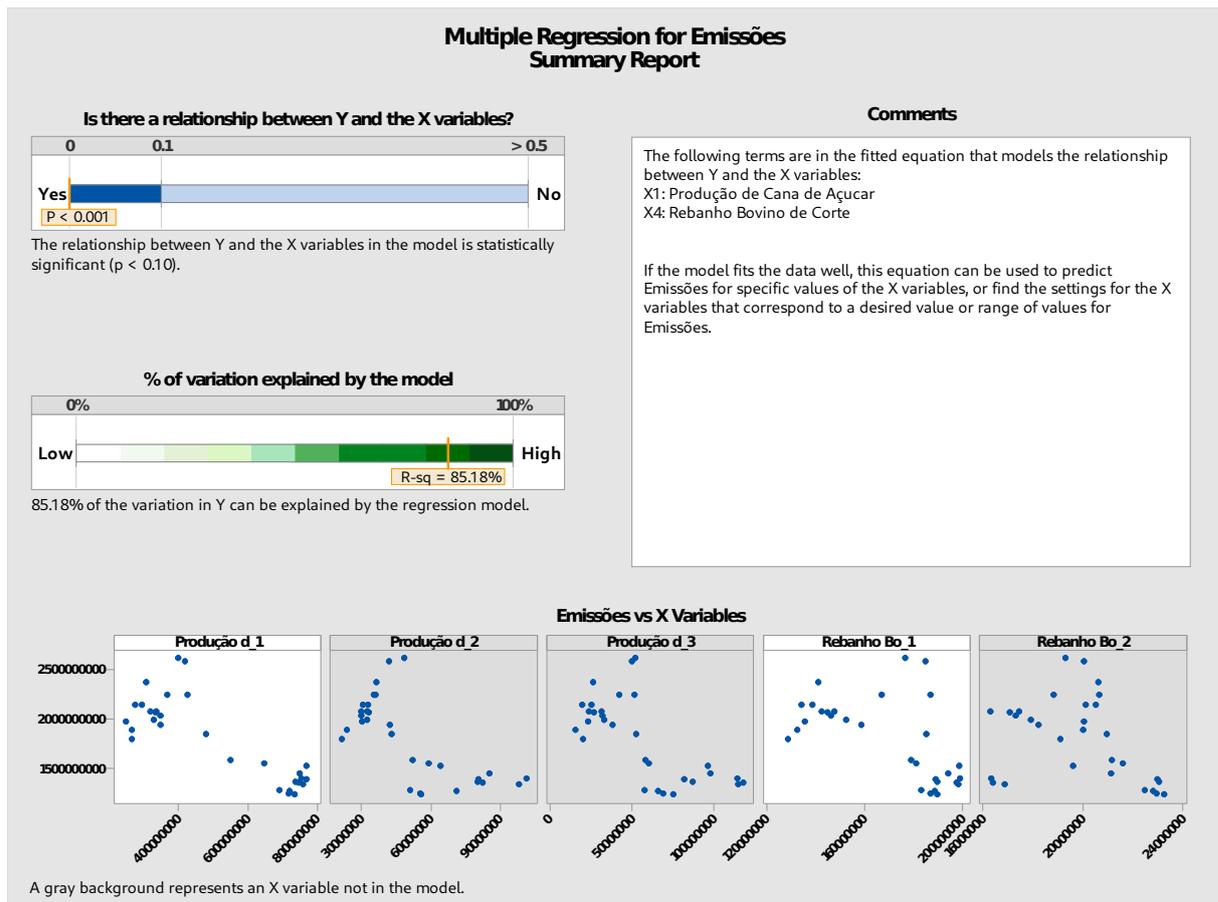


Fonte: Elaborado pelo Autor (2022), com base em dados do (SEEG, 2020)

Na Figura 3 são apresentados três gráficos principais: *Model Building Sequence*, Sequência de Construção do Modelo, à esquerda e acima em cada figura, que mostra o grau de contribuição de cada variável para a construção do modelo; *Incremental Impact of X Variables*, Impacto Incremental das Variáveis X, a direita e acima em cada figura – mostra as variáveis que mais contribuem para a construção do modelo – barras mais longas; *Each X Regressed on All Other Terms*, Variáveis X que tem maior impacto na regressão, a direita e abaixo – mostra em

cinza variáveis que não explicam o comportamento de Y. A Figura 3 comparando as emissões do 'Grupo Agropecuária' com Produção de Cana de Açúcar, Produção de Milho, Produção de Soja, Rebanho Bovino de Corte e Rebanho Bovino de Leite.

Figura 4 - Análise de Regressão realizada no Minitab utilizando dados do SEEG de 1990 a 2019



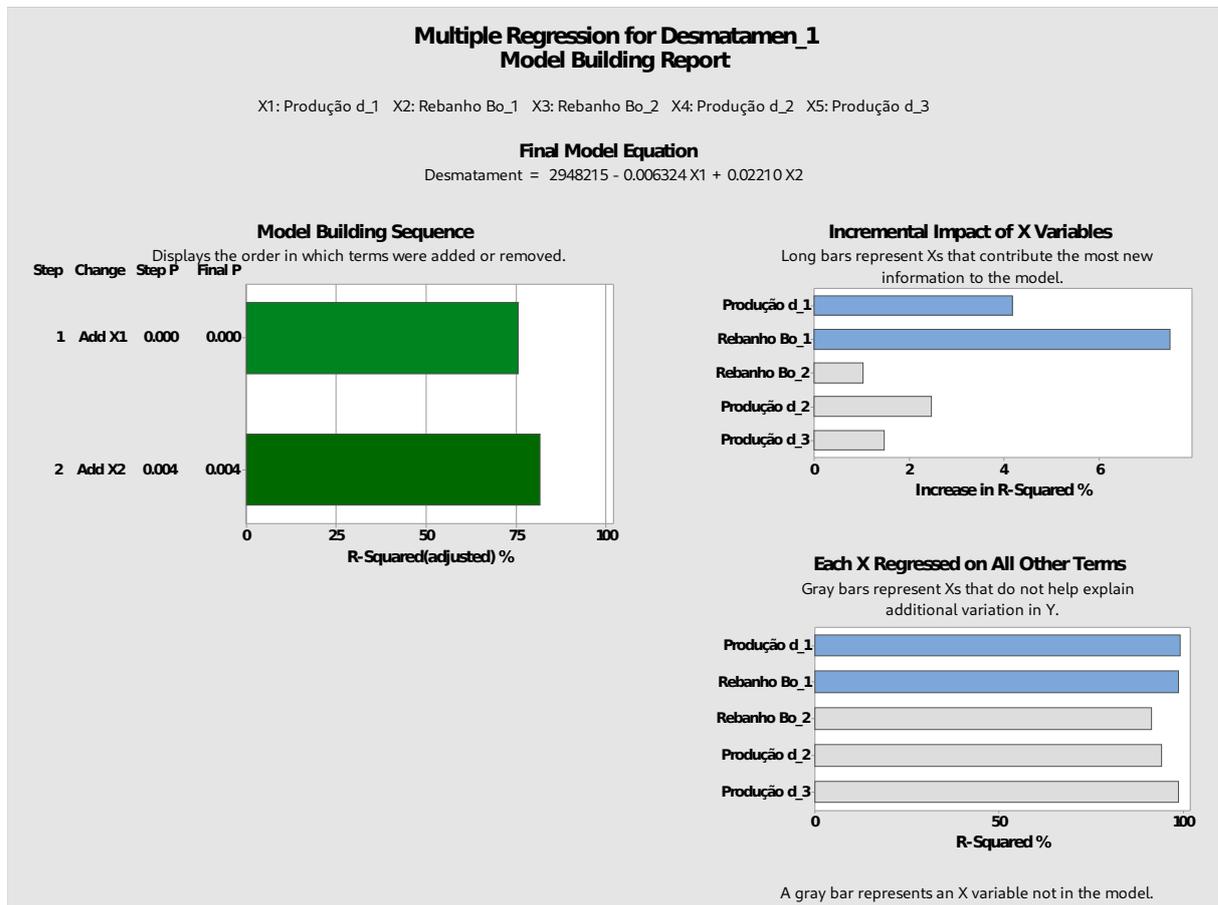
Fonte: Elaborado pelo Autor (2022), com base em dados do (SEEG, 2020)

A Figura 4 possui os seguintes gráficos: *Is there a relationship between Y and the X variables?*, ou seja, há relação entre Y e as variáveis X? – Gráfico que procura mostrar se o valor p é menor que alfa, o que indicaria uma correlação estatisticamente significativa entre as variáveis; *% of variation explained by the model*, % da variação explicado pelo modelo – Gráfico que mostra o quanto da variação em Y é explicado pelas variáveis X no modelo, e por fim na parte de baixo de cada uma das Figuras é possível observar alguns gráficos de dispersão correlacionando cada variável X com o Y, a fim de se visualizar a relação entre as variáveis. É importante notar que nem sempre a relação será visível nesses gráficos de dispersão, pois nem toda regressão é linear, porém o software representa nesses

gráficos com fundo cinza variáveis que foram testadas e não incluídas no modelo. A Figura 4 comparando as emissões do 'Grupo Agropecuária' com Produção de Cana de Açúcar, Produção de Milho, Produção de Soja, Rebanho Bovino de Corte e Rebanho Bovino de Leite.

Ao analisar o desmatamento como variável Y e considerando a Produção de Cana de Açúcar, o Rebanho Bovino de Corte, o Rebanho Bovino de Leite, a Produção de Milho e a Produção de Soja, conforme Figuras 5 e 6, observa-se novamente que as variáveis Rebanho Bovino de Corte e Produção de Cana de Açúcar apresentam maiores relações.

Figura 5 – Análise de Regressão realizada no Minitab utilizando dados do SEEG de 1990 a 2019

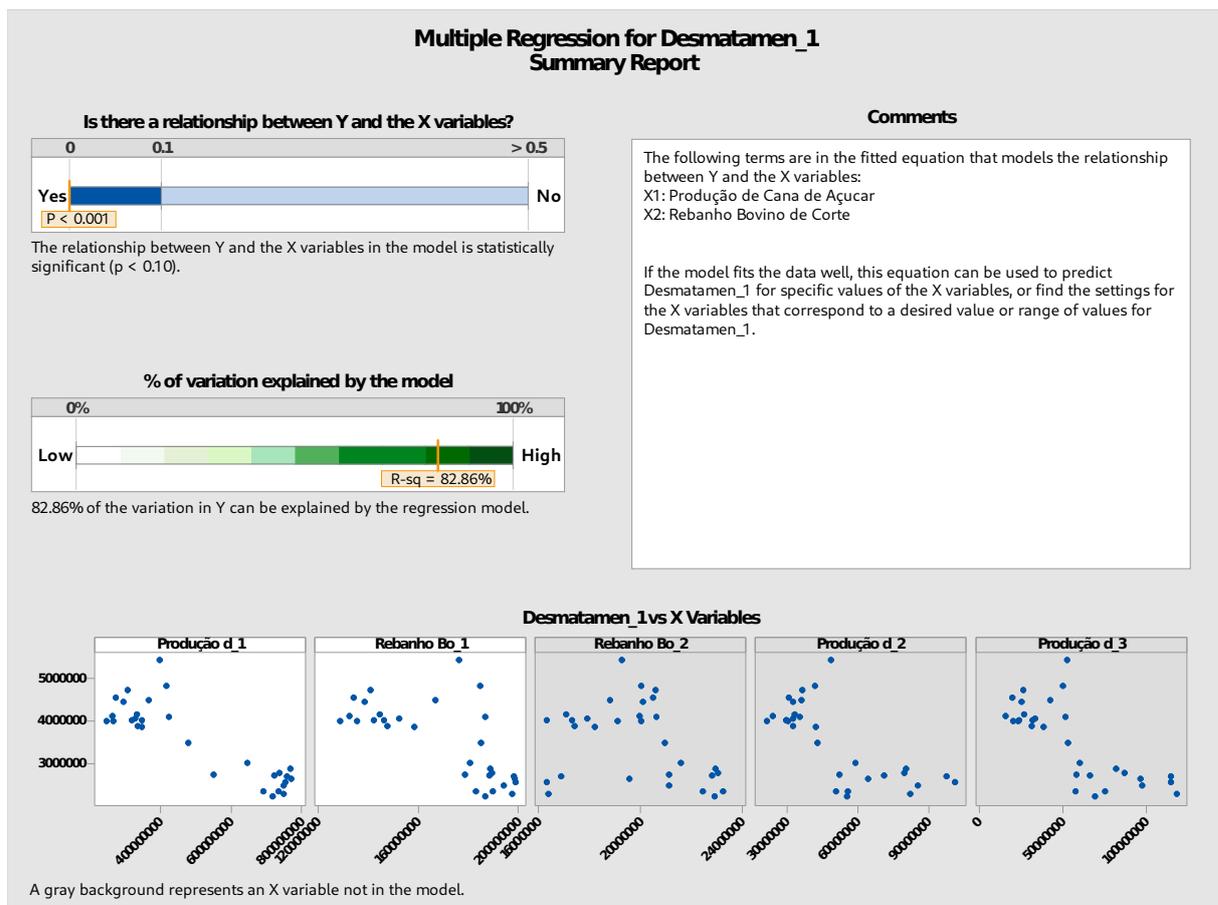


Fonte: Elaborado pelo Autor (2022), com base em dados do (SEEG, 2020)

Na Figura 6 são apresentados três gráficos principais: *Model Building Sequence*, Sequência de Construção do Modelo, à esquerda e acima em cada figura, que mostra o grau de contribuição de cada variável para a construção do modelo; *Incremental Impact of X Variables*, Impacto Incremental das Variáveis X, a direita e acima em cada figura – mostra as variáveis que mais contribuem para a

construção do modelo – barras mais longas; *Each X Regressed on All Other Terms*, Variáveis X que tem maior impacto na regressão, a direita e abaixo – mostra em cinza variáveis que não explicam o comportamento de Y. A Figura 6 comparando o desmatamento com o Rebanho Bovino de Corte e a Produção de Cana de Açúcar.

Figura 6 - Análise de Regressão realizada no Minitab utilizando dados do SEEG de 1990 a 2019



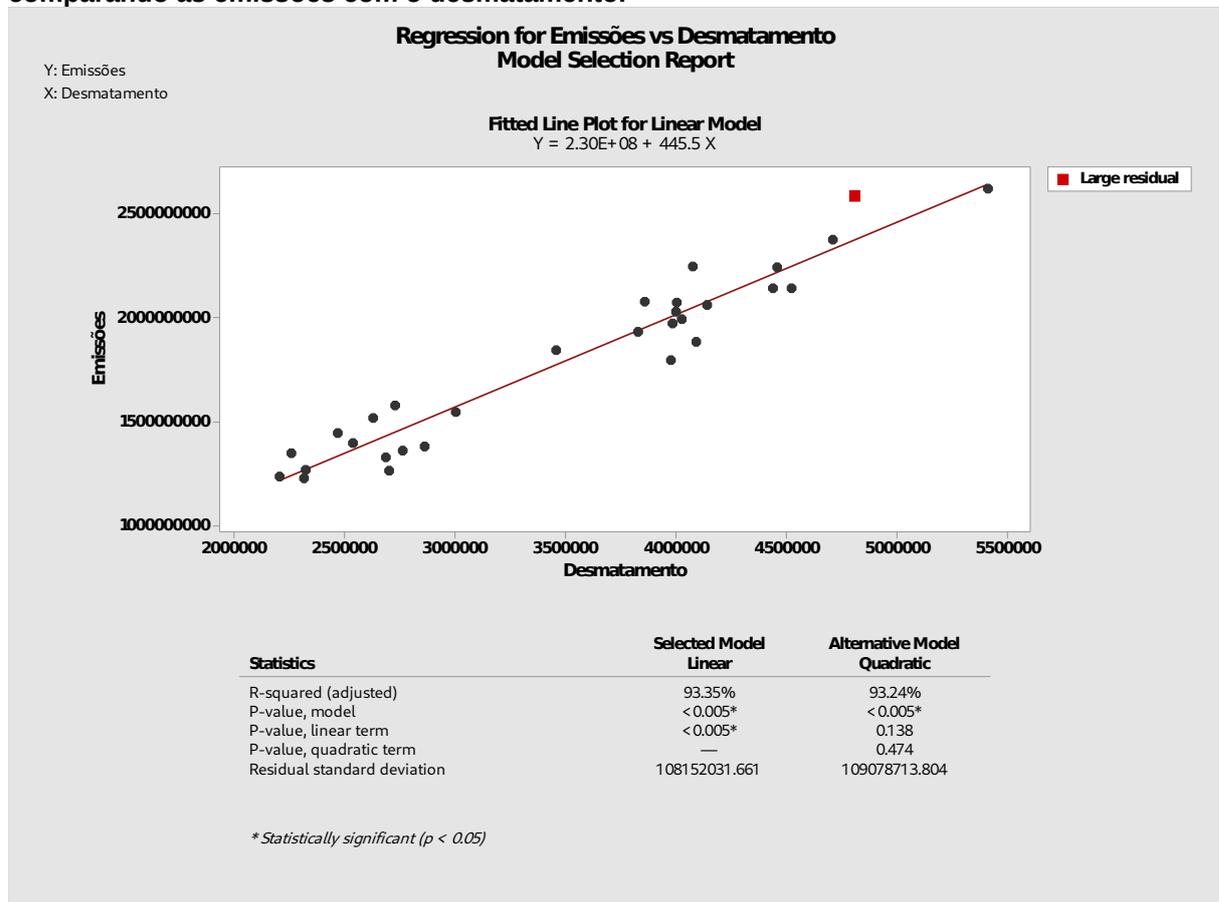
Fonte: Elaborado pelo Autor (2022), com base em dados do (SEEG, 2020)

A Figura 2 possui os seguintes gráficos: *Is there a relationship between Y and the X variables?*, ou seja, há relação entre Y e as variáveis X? – Gráfico que procura mostrar se o valor p é menor que alfa, o que indicaria uma correlação estatisticamente significativa entre as variáveis; *% of variation explained by the model*, % da variação explicado pelo modelo – Gráfico que mostra o quanto da variação em Y é explicado pelas variáveis X no modelo, e por fim na parte de baixo de cada uma das Figuras é possível observar alguns gráficos de dispersão correlacionando cada variável X com o Y, a fim de se visualizar a relação entre as

variáveis. É importante notar que nem sempre a relação será visível nesses gráficos de dispersão, pois nem toda regressão é linear, porém o software representa nesses gráficos com fundo cinza variáveis que foram testadas e não incluídas no modelo. A Figura 7 comparando o desmatamento com o Rebanho Bovino de Corte e a Produção de Cana de Açúcar.

Com base nos dados analisados é possível explicar as emissões do agronegócio principalmente pelo desmatamento, segundo Figura 7, e observa-se que este tem uma relação forte com a produção de cana de açúcar e com o gado bovino de corte.

Figura 7 - Análise de Regressão realizada no Minitab utilizando dados do SEEG de 1990 a 2019 comparando as emissões com o desmatamento.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022), com base em dados do (SEEG, 2020)

Além do desmatamento, a literatura explica que existem outros aspectos nas emissões de gases de efeito estufa que se relacionam com o 'Grupo Agropecuária': como o cuidado com a alimentação do gado, cuidados com o solo e outros mecanismos de compensação, especialmente considerando o plantio de cana da açúcar (EMBRAPA, 2018). Neste tipo de plantio as emissões tendem a ser

compensadas pela própria planta, e onde o governo já mantém um Programa de Certificação de eficiência de produtores.

Outros dois aspectos importantes a serem destacados são: a produção de cana de açúcar não é feita em região amazônica, conforme Figura 8, de forma que esta não está relacionada ao desmatamento da Amazônia, e apesar das emissões brutas da agropecuária serem mais altas, existe também uma iniciativa crescente na redução de emissões nessa área, conforme Gráfico 17.

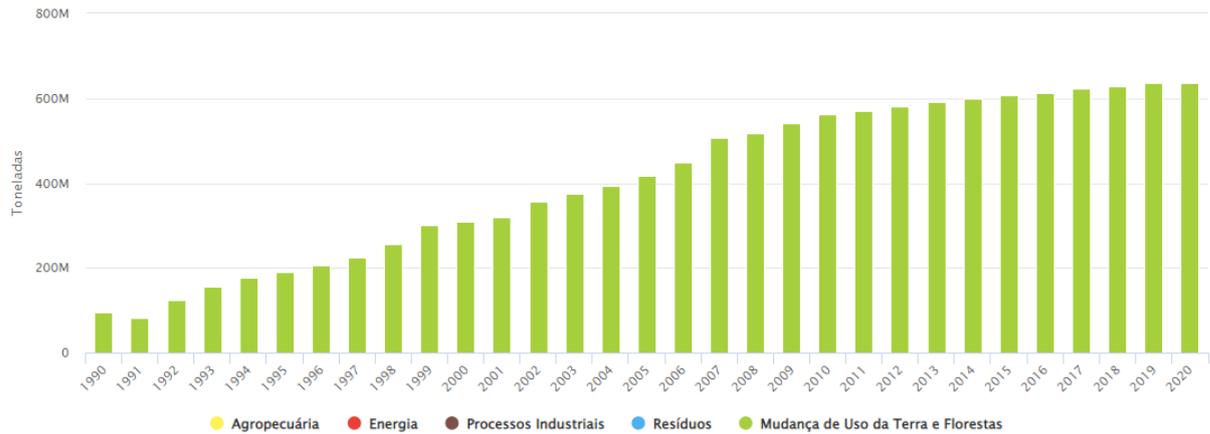
Figura 8 - Áreas de plantio de cana de açúcar no Brasil



Fonte: (DIAS BATISTA, LOPES FARIAS, et al., 2014)

O Gráfico 17 contabiliza as reduções de gases de efeito estufa ano a ano desde 1990, estes abatidos pela conservação de áreas protegidas. Um aspecto importante a ser observado é que apesar da estabilidade dos últimos anos, esse valor ainda é crescente.

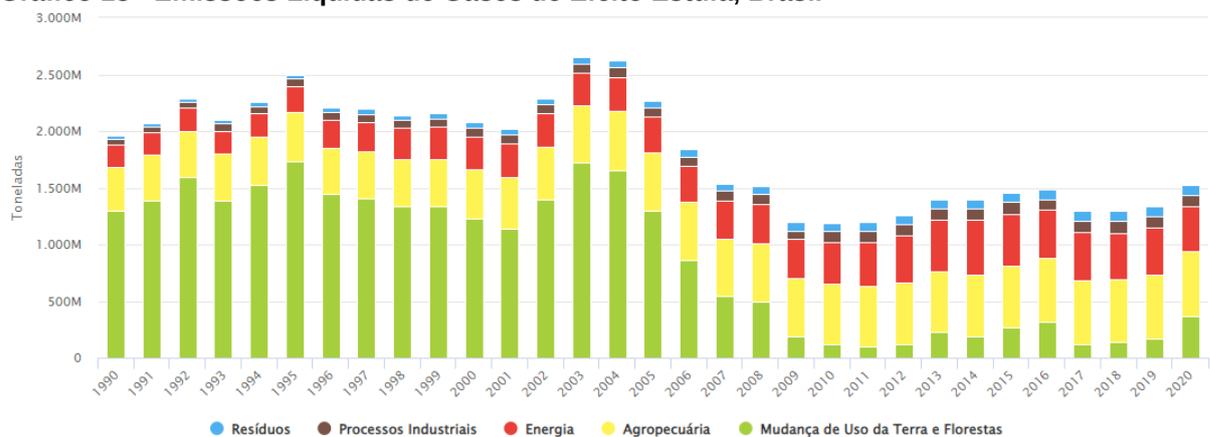
Gráfico 17 - Remoção de Gases de Efeito Estufa, Brasil



Fonte: (SEEG, 2020)

O Gráfico 18 demonstra as emissões de GEE líquidas no Brasil e considera os valores abatidos demonstrados no gráfico 17, e dessa forma o efeito na Mudança de Uso da Terra e Florestas já pode ser observado em menor proporção na última década, porém precisam de atenção uma vez que houve um grande crescimento de 2019 para 2020.

Gráfico 18 - Emissões Líquidas de Gases de Efeito Estufa, Brasil

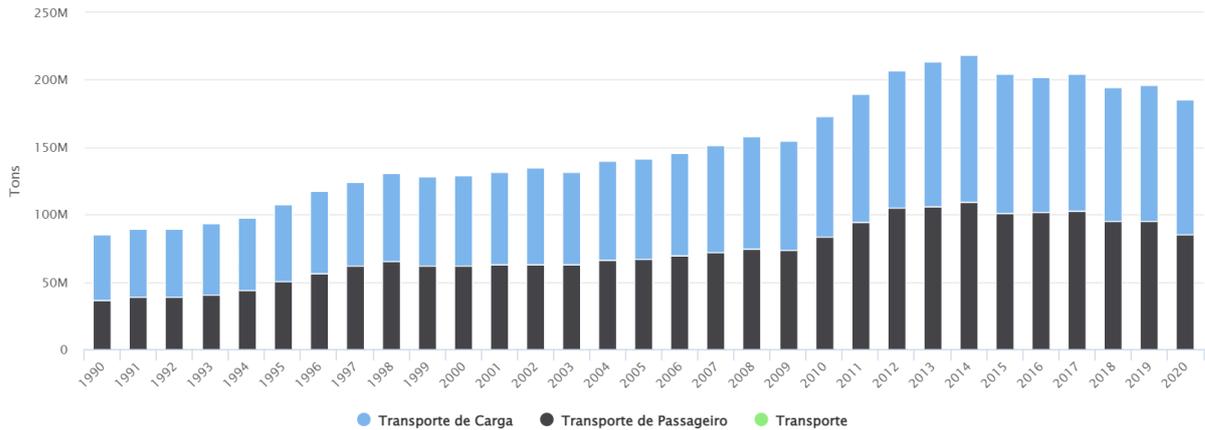


Fonte: (SEEG, 2020)

4.3.2 Transporte

O 'Grupo Transporte' leva em consideração duas variáveis: o transporte de cargas e o transporte de pessoas, grupos com características diferentes, em especial pela variabilidade dos combustíveis presentes no transporte de pessoas, o volume de carga e distâncias percorridas no transporte de cargas, especialmente no Brasil, onde este modal, rodoviário, é predominante. O Gráfico 18 mostra as emissões dessas duas áreas:

Gráfico 19 - Emissões Brutas do grupo definido como transporte para o Brasil



Fonte: (SEEG, 2020)

Em relação ao transporte é possível fazer um cruzamento de dados da IEA com o SEEG, segundo Tabela 8.

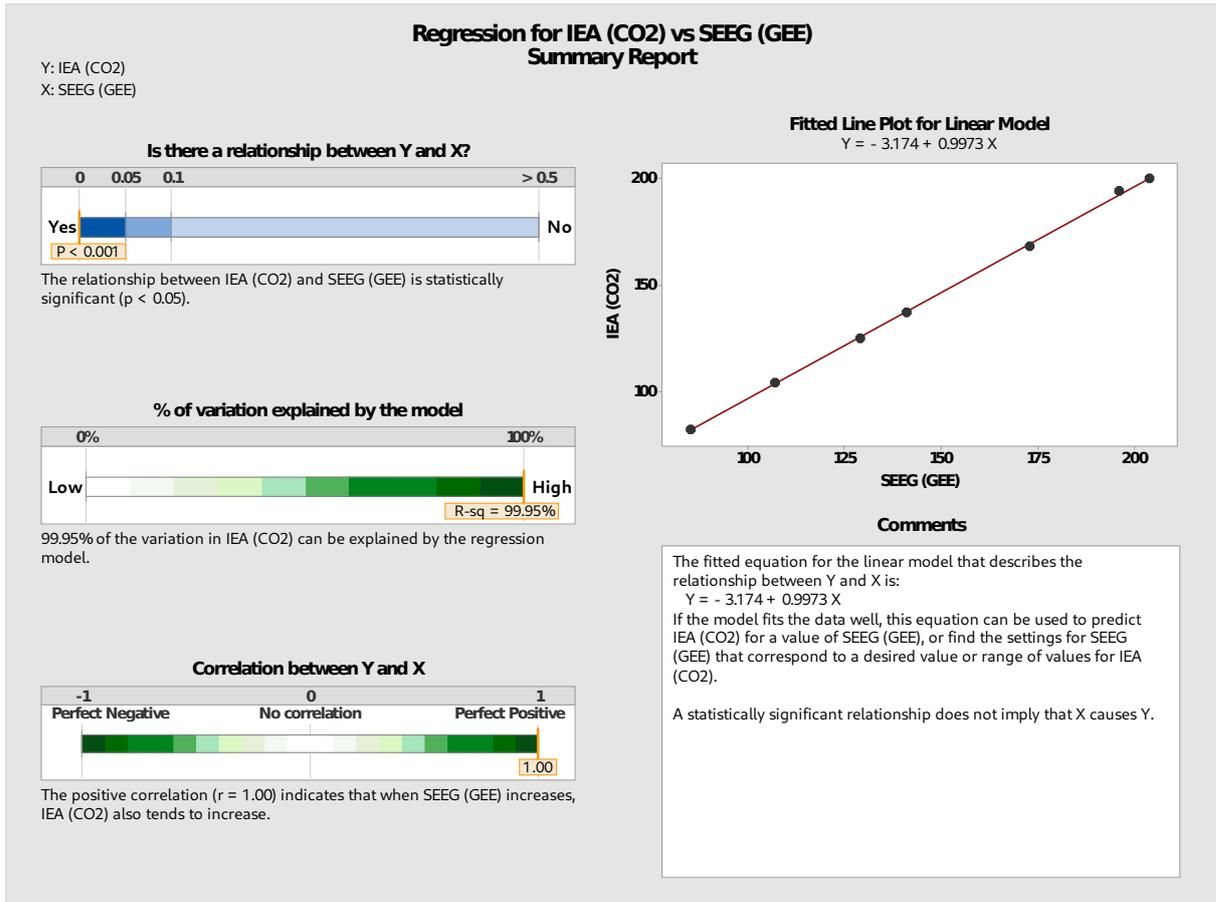
Tabela 7 - Emissões Brasileiras no transporte, comparação de dados IEA (CO₂) com SEEG (Gases de Efeito Estufa – GEE) em MtCO₂e

Mt CO ₂ e	IEA (CO ₂)	SEEG (GEE, CO ₂ e)
1990	82	85
1995	104	107
2000	125	129
2005	137	141
2010	168	173
2015	200	204
2019	194	196

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022), com base em dados do (SEEG, 2020) e (IEA, 2020)

A Figura 9 mostra a correlação entre as informações, o que reforça a qualidade dos dados coletados e a quase ausência de outros GEE, que não o CO₂.

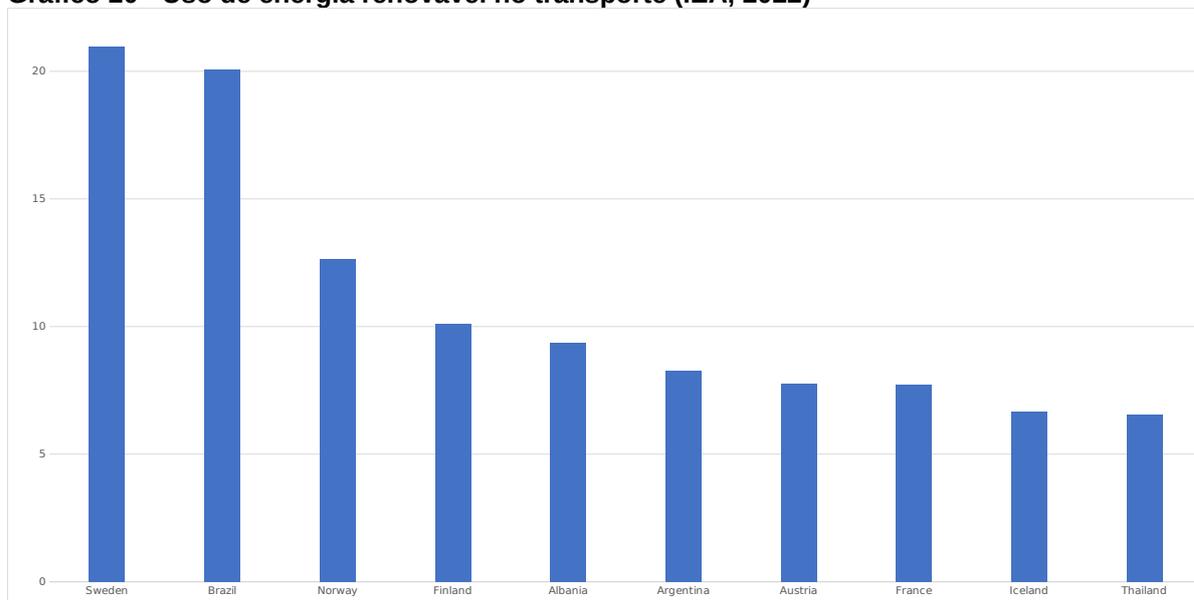
Figura 9 - Análise de Regressão realizada no Minitab comparando dados do SEEG de emissões de GEE com dados da IEA de emissões de CO₂, ambos para o 'Grupo Transporte'



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022), com base em dados do (SEEG, 2020)

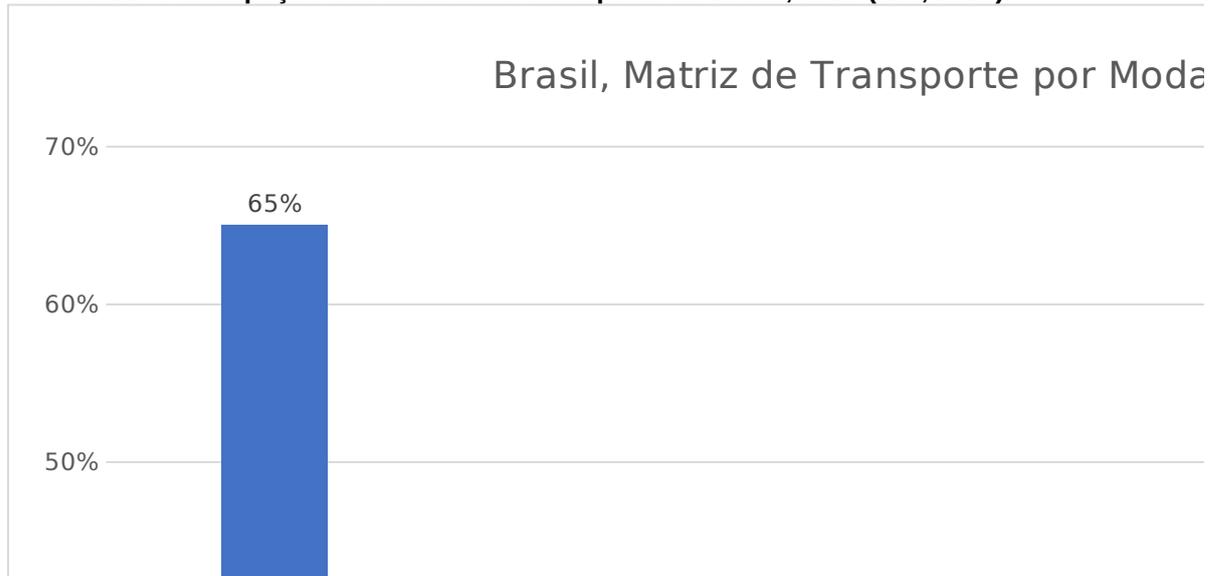
No Gráfico 19 é possível observar que o Brasil é o segundo País no mundo a usar energia renovável no transporte, o que também está demonstrado na Tabela 6, que mostra o percentual de biocombustíveis de forma crescente ano a ano, porém o 'Grupo Transporte' ainda é o setor com maiores emissões no Brasil.

Gráfico 20 - Uso de energia renovável no transporte (IEA, 2022)



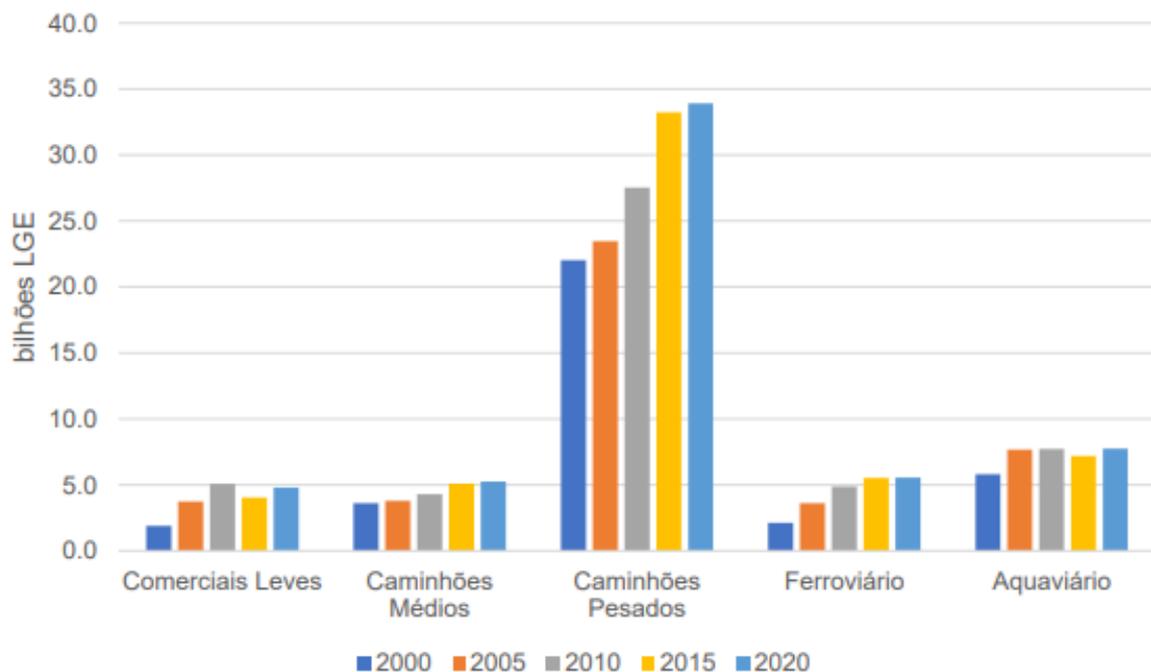
Fonte: (IEA, 2022)

Quando são observados os modais de transporte no Brasil, verifica-se que o modal com maior volume é o modal rodoviário de carga, menos eficiente no transporte de cargas em longas distâncias. O Gráfico 20 ilustra esta afirmativa, onde pode-se observar uma predominância no modal rodoviário, que tem uma boa capilaridade, mas que quando se considera a média de idade da frota, que está acima dos 10 anos, implica em motores menos eficientes, sendo que 6% da frota tem mais de 30 anos de uso. Em relação a qualidade das estradas, apenas 13.7% são pavimentadas e estão concentradas nas regiões sul e sudeste do País (TERRA NOVA LOGISTICA, 2022).

Gráfico 21 - Participação dos Modais no Transporte do Brasil, 2017 (IEA, 2020)

Fonte: (IEA, 2020)

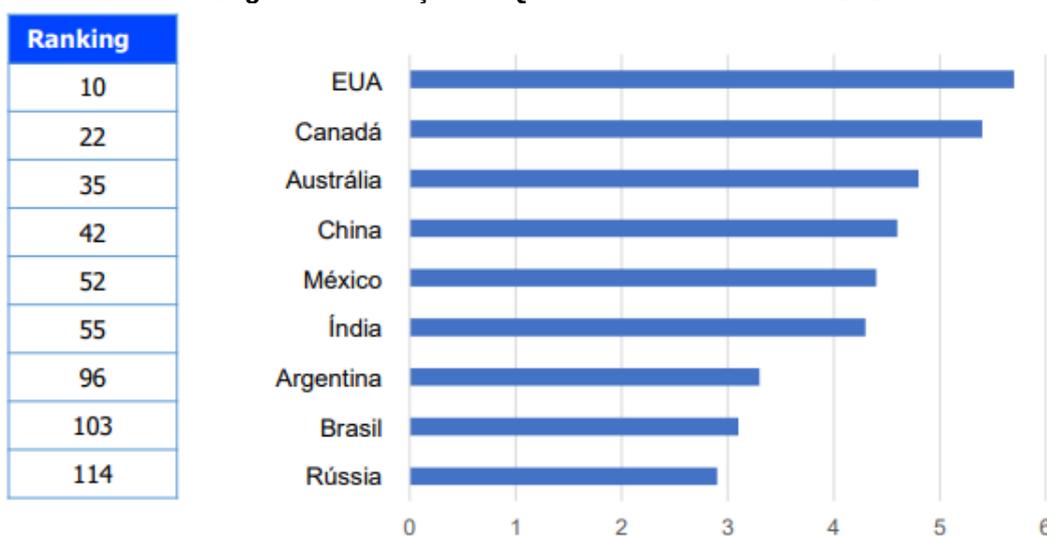
O Gráfico 21 demonstra que há uma crescente demanda no transporte rodoviário, mas que nos últimos 5 anos a taxa tem sido reduzida. Uma das possíveis explicações para o menor crescimento de caminhões leves e médios poderia ser a consolidação de cargas, que é uma solução viável para a redução de emissões, porém esse trabalho não encontrou fontes diretas de correlação.

Gráfico 22- Consumo energético por modal de transporte, evolução em LGE (Litros de Gasolina Equivalente)

Fonte: (EPE, 2021)

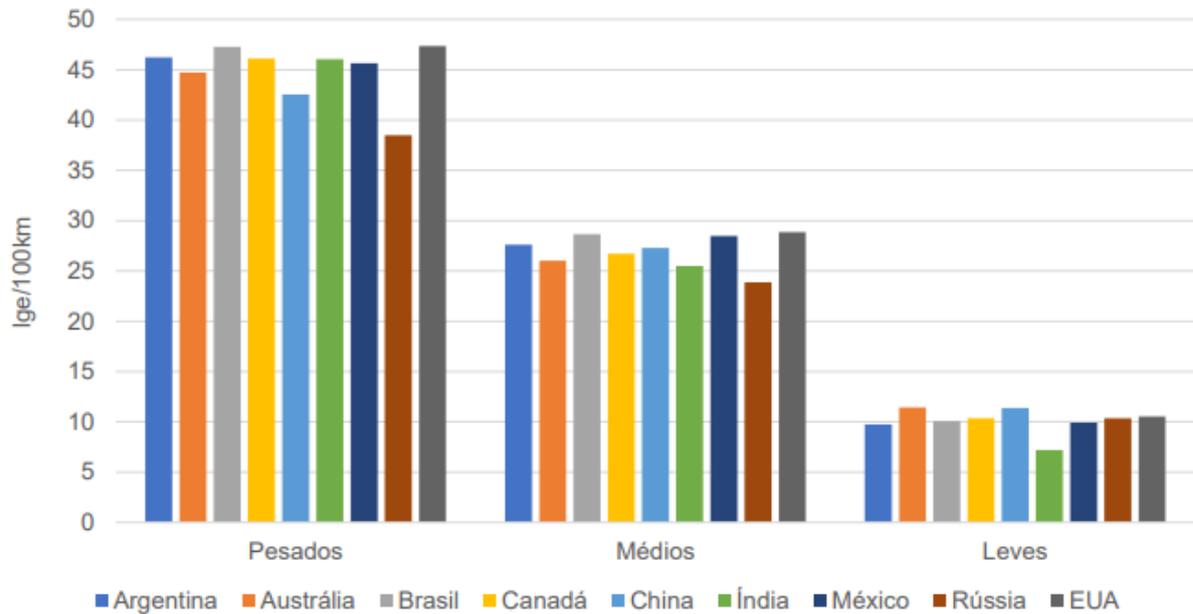
Com relação a qualidade das estradas, o consumo de combustível pode aumentar de 2,5 a 5% em estradas com piores condições. O Gráfico 23 mostra o Brasil na posição 103ª, entre os Países com melhores estradas, um ponto que deve ser melhorado pois ainda existem oportunidades para o desenvolvimento de outros modais logísticos que poderiam reduzir o custo de transporte e o impacto das emissões.

Gráfico 23 - Ranking e Classificação de Qualidade Rodoviária em 2017



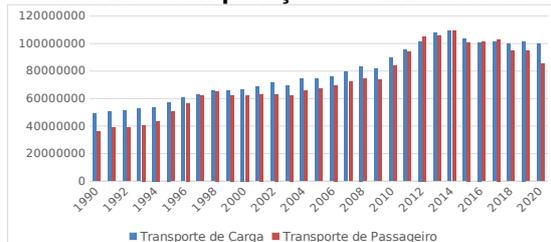
Fonte: (EPE, 2021)

Quando é feita a comparação em relação a eficiência, conforme o Gráfico 24, observa-se que o Brasil é o segundo com o pior consumo de combustível. Parte desse impacto está relacionado a parâmetros como velocidade nas rodovias, idade da frota e condições da estrada – parâmetros diretamente relacionados a potenciais ganhos de eficiência energética.

Gráfico 24 - Consumo específico em 2020 para países selecionados

Fonte: (EPE, 2021)

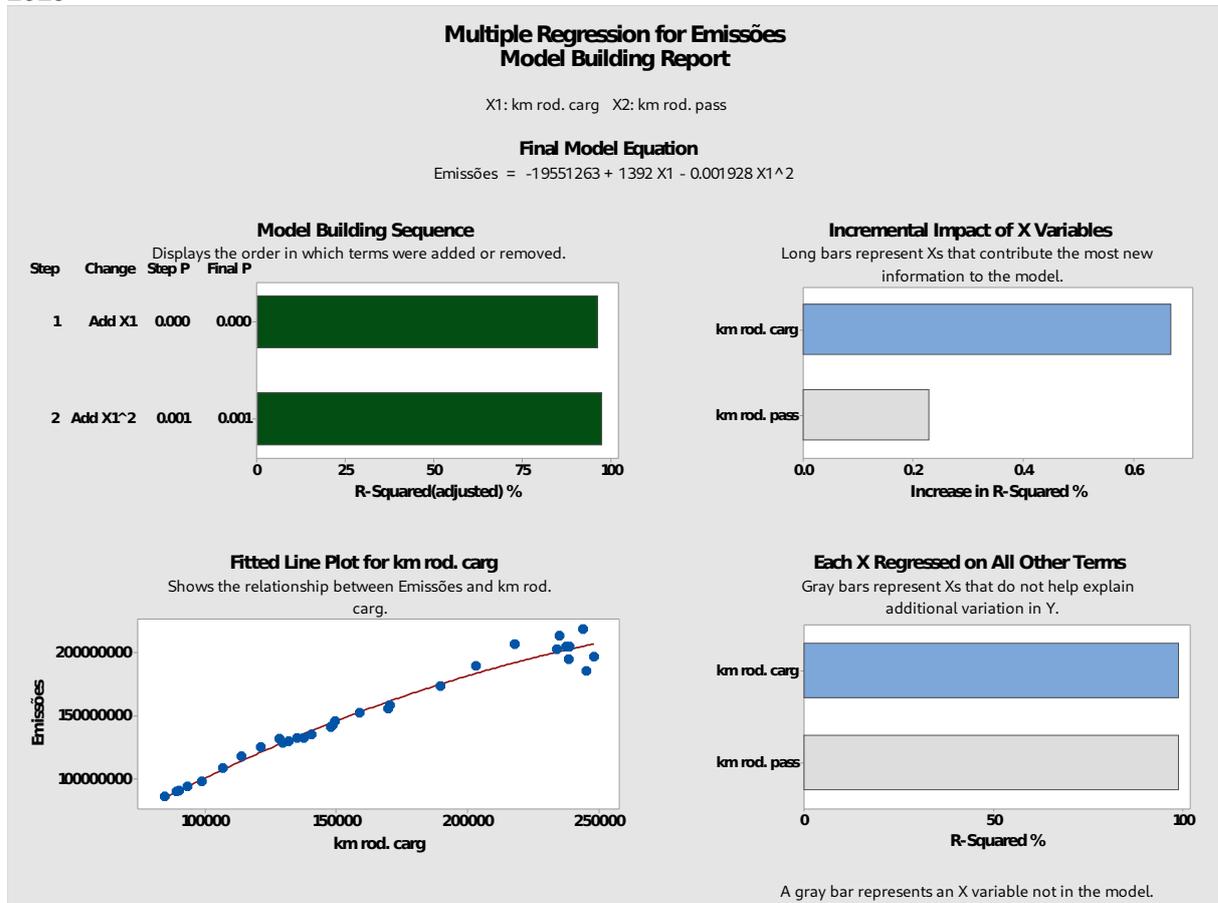
Conforme o Gráfico 25, apesar de existirem 13 milhões de quilômetros rodoviários percorridos no transporte de passageiros e apenas 5 milhões de quilômetros de rodoviários percorridos no transporte de carga entre 1990 e 2020, o valor das emissões entre esses dois tipos de transporte é basicamente a mesma.

Gráfico 25 - Comparação de emissões de GEE Carga e Passageiros Brasil, 1990-2020

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022), com base em dados do (SEEG, 2020)

A análise apresentada na Figura 10 mostra que a maior dependência das emissões está relacionada ao transporte rodoviário.

Figura 10 - Análise de Regressão realizada no Minitab utilizando dados do SEEG de 1990 a 2019

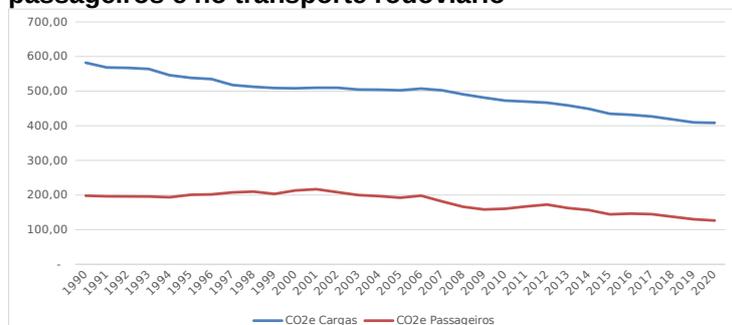


Fonte: Elaborado pelo Autor (2022), com base em dados do (SEEG, 2020)

Na Figura 10 são apresentados três gráficos principais: *Model Building Sequence*, Sequência de Construção do Modelo, à esquerda e acima em cada figura, que mostra o grau de contribuição de cada variável para a construção do modelo; *Incremental Impact of X Variables*, Impacto Incremental das Variáveis X, a direita e acima em cada figura – mostra as variáveis que mais contribuem para a construção do modelo – barras mais longas; *Each X Regressed on All Other Terms*, Variáveis X que tem maior impacto na regressão, a direita e abaixo – mostra em cinza variáveis que não explicam o comportamento de Y. Os dados apresentados na Figura 10 correlacionam as emissões do ‘Grupo Transporte’ com dados de quilometragem de carga e passageiros no modal rodoviário, além disso, há um elemento extra, a esquerda e abaixo: *Fitted Line Plot*, Gráfico Linear Ajustado – que mostra graficamente a correlação entre a variável X e Y, segundo o modelo proposto.

O Gráfico 26 mostra que há um decréscimo nas emissões de CO₂e por quilômetro, porém, estes níveis, ainda estão muito elevados.

Gráfico 26 - Comparação das emissões em toneladas de CO₂e por quilômetro no transporte de passageiros e no transporte rodoviário



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022), com base em dados do (SEEG, 2020)

Com base no Gráfico 26, é possível concluir que o uso do modal rodoviário para o transporte de carga é o maior contribuidor para as emissões no 'Grupo Transporte' de gases de efeito estufa, que quando isolado em emissões de CO₂ é o maior contribuidor de emissões do Brasil. Além de explorar outros modais, algumas outras causas puderam ser encontradas: a idade da frota (que impacta na eficiência dos motores), as condições das estradas que aumentam de 2,5 a 5% o consumo de combustível e a forte dependência do diesel como combustível principal: quando o Brasil é referência global em energia renovável no transporte conforme Gráfico 20.

A Tabela 9 também deixa claro que apesar da eletrificação ser um caminho viável para o transporte de pessoas, ou até mesmo de cargas, opções híbridas podem oferecer melhores soluções sob o ponto de vista de emissões, especialmente em locais onde a energia da rede ainda está em níveis mais elevados de participação das renováveis, e até mesmo onde já existe um nível favorável de renováveis, a adição de uma carga extra na rede, pode terminar por 'sujar' a matriz elétrica, isso mesmo sem considerar a questão logística elétrica que ainda precisa ser desenvolvida.

Tabela 8- Comparação de emissões de diferentes veículos a cada 100km

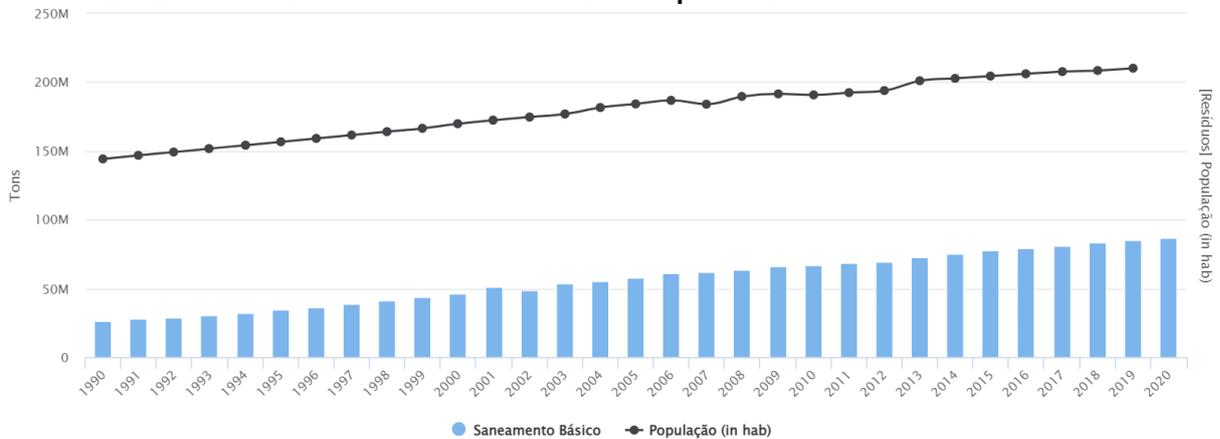
Local/Veículo	CO ₂ /100km
Carro Elétrico - Brasil	1,3kgCO ₂ /100km
Carro Elétrico - Países Hemisfério Norte (1kgCO ₂ e/kWh)	17.5kgCO ₂ /100km
Carro sub-compacto a gasolina	9,8kgCO ₂ /100km
Veículo híbrido de categoria superior	2,8kgCO ₂ /100km

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022), com base em dados do (INMETRO, 2020), (KARCZEWSKI, SZCZĘCH e POLAK, 2019) e (CARBON FOOTPRINT, 2020)

4.3.3 Os Resíduos

O Grupo Resíduos é o terceiro e último grupo considerado nesse trabalho. Conforme apresentado no Gráfico 27, o nível de emissões segue um padrão muito similar ao padrão de crescimento da população, o que pode indicar uma falta de ações para conter as emissões desse grupo que são em sua maioria emissões de Metano, resultantes de decomposições anaeróbicas de resíduos orgânicos.

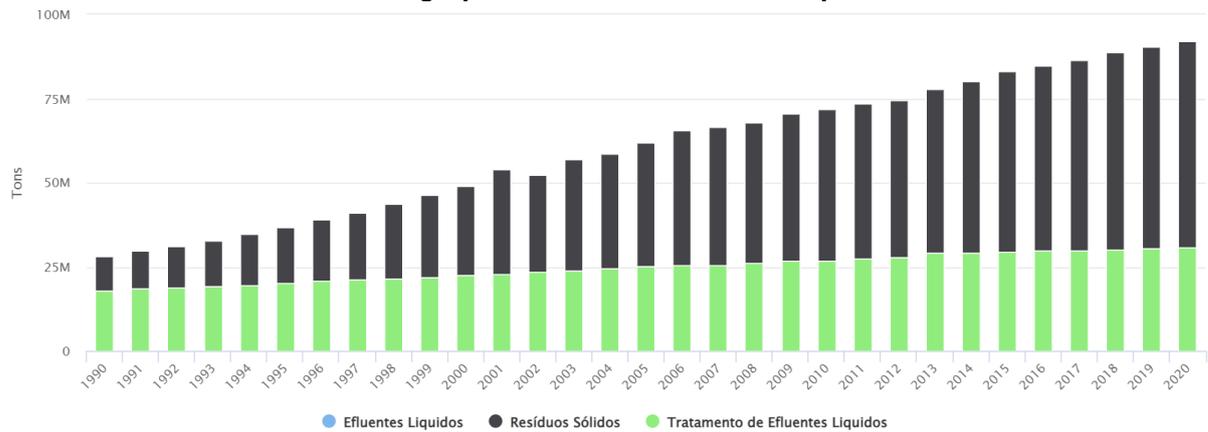
Gráfico 27- Emissões Brutas de Saneamento Básico para o Brasil



Fonte: (SEEG, 2020)

O Gráfico 28 demonstra que os resíduos sólidos são os maiores contribuintes para esse grupo, o que não necessariamente indica que a estabilidade demonstrada no Tratamento de Efluentes Líquidos seja uma verdade absoluta, uma vez que parte dessa matéria orgânica pode não estar sendo contabilizada de forma adequada – o que também representa uma oportunidade de investimentos para a adequada quantificação de emissões, e conseqüente tratamento.

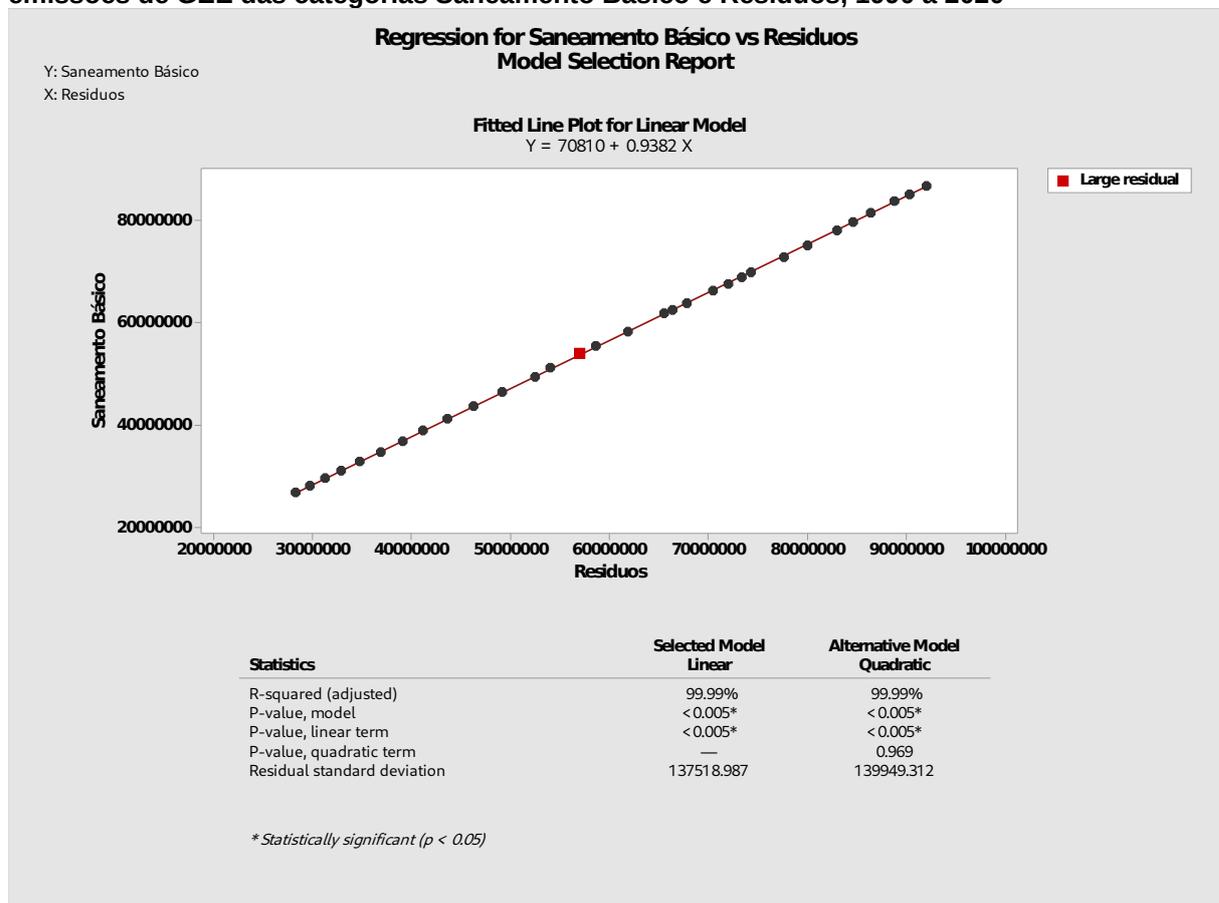
Gráfico 28 - Emissões Brutas do grupo definido como Resíduos para o Brasil



Fonte: (SEEG, 2020)

Por uma questão de validação de dados a regressão da Figura 11 demonstra que ao analisar as emissões ‘Saneamento Básico’ pela ótica dos resíduos, não existe quaisquer omissões ou perdas, uma vez que há uma correlação perfeita entre os números – dessa forma os temas serão tratados em conjunto.

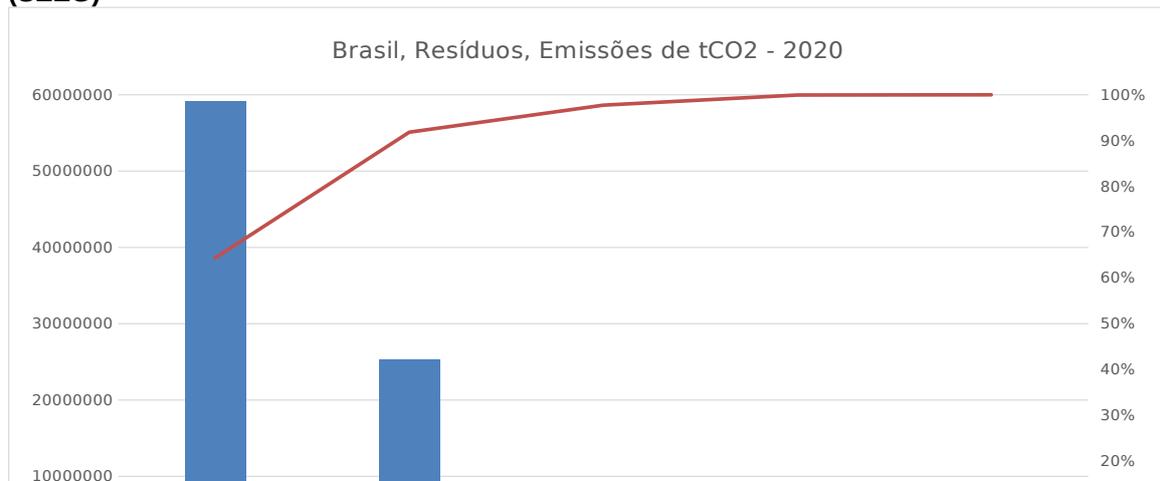
Figura 11 - Análise de Regressão realizada no Minitab comparando dados do SEEG de emissões de GEE das categorias Saneamento Básico e Resíduos, 1990 a 2020



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022), com base em dados do (SEEG, 2020)

O Saneamento Básico é um problema antigo no Brasil e vem tendo uma evolução muito lenta de melhora nos últimos anos, sendo as principais emissões metano (96,6%), advindas da disposição de resíduos em aterros sanitários (controlados e lixões), tratamento de efluente doméstico, tratamento de efluentes industriais, incineração ou queima a céu aberto e o tratamento biológico, segundo Gráfico 29.

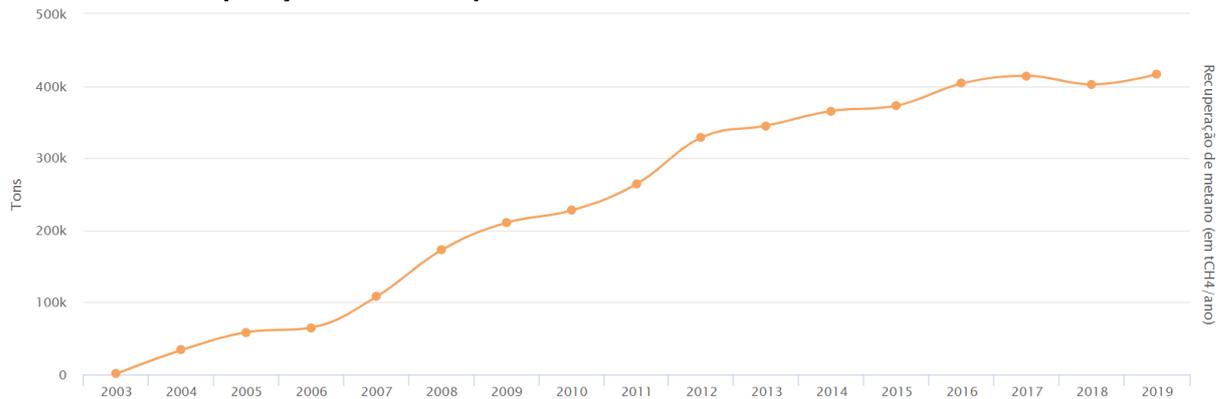
Gráfico 29 - Emissões Brutas do grupo definido como Resíduos para o Brasil por variável (SEEG)



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022), com base em dados do (SEEG, 2020)

Pela Análise de Pareto do Gráfico 28 é possível identificar que a maior parte das emissões provém dos lixões e do tratamento de efluentes domésticos. Como pontuado anteriormente, a maior parte dessas emissões são na forma do metano e em função da decomposição da matéria orgânica. A maior parte das emissões de resíduos sólidos são oriundas de lixões, que somam 3 mil unidades no País.

Existem também iniciativas constantes para a remoção desse metano, num número crescente ao longo dos anos, porém não ainda a níveis que causem impacto no resultado geral, conforme Gráfico 30.

Gráfico 30 - Recuperação de Metano para o Brasil

Fonte: (SEEG, 2020)

4.3.4 Demanda Global por Energia Limpa

Com os compromissos assumidos no acordo de Paris (COP15) e recentemente ratificados na Escócia durante a COP26, os Países vêm trabalhando para buscar formas de acelerar a redução de emissões e de buscar formas para compensar as emissões que não podem ser reduzidas, uma vez que apenas 35% das soluções tecnológicas estão disponíveis, representando assim uma grande oportunidade para o Brasil, que possui condições geográficas favoráveis a energia limpa (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2018).

A Tabela 9 apresenta uma Análise de SWOT relacionada a políticas públicas, legislação atual e necessidades legais relacionadas a transição energética no Brasil.

Tabela 9 - Matriz de SWOT Políticas Públicas e Legislação

Forças	Fraquezas
<ul style="list-style-type: none"> • Plano ABC, • Venda direta de etanol aos postos, • Programa Brasileiro de Etiquetagem, • Sistemas de Monitoramento de Queimada pelo INPE, • Lei do Gás, • Plano Nacional de Logística Reversa, • Mercado Brasileiro de Créditos de Carbono, • Programa de Créditos de Metano lançado para incentivar a indústria de captura de metano e redução de <i>flaring</i>. • Presença de empresas internacionais e de profissionais qualificados, • Projeto de Lei do Hidrogênio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de obrigatoriedade/incentivos de adesão ao plano ABC, • Não há um programa específico de etiquetagem relacionado a emissões de gases de efeito estufa, • Falta de recursos para a fiscalização, • Ausência, em algumas áreas, de linhas de financiamento para infraestruturas verdes, • Tempo de aprovação e regulamentação de leis importantes, • Incerteza jurídica, • Instabilidade e polarização política, • Falta de incentivos a investimentos na conversão de caminhões a diesel para Gás Natural, • Falta de um mercado constante de Gás Natural.
Oportunidades	Ameaças
<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade global por soluções de baixo carbono, • Disponibilidade monetária global para investimento em áreas de baixo carbono, • Clareza quando ao Brasil ser o lugar mais promissor para investimento, • Momento de migração das empresas de óleo e gás para o setor de energia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Imagem do Brasil no exterior em relação a queimadas, • Imagem do Brasil no exterior em relação a corrupção, • Outros Países com legislação e políticas públicas mais avançadas, • Protecionismo de produtores rurais da Europa e Estados Unidos.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

A análise de SWOT funciona como uma ferramenta para desenvolver estratégias com base em condições internas e externas do tema em análise, conforme a Tabela 10.

Tabela 10 - Matriz de SWOT da posição do Brasil frente a transição energética

Forças	Fraquezas	Oportunidades	Ameaças
Posição Geográfica Privilegiada	Ausência de legislação relacionada ao mercado de carbono	Necessidade Global por Mercados de crédito de carbono	Pressão de produtores rurais da Europa e Estados Unidos
Matriz Energética Limpa	Instabilidade jurídica	Busca Global por Produtos com baixa emissão	Preparação de outros Países para esse mercado
Ações eficazes de redução de gases de efeito estufa no campo	Necessidade de uma política de preços de gás	Necessidade de Produção de Hidrogênio Verde	Guerra na Europa
Bom potencial para energia solar, eólica e hidráulica	Forte polarização política	Desvalorização monetária Brasileira	IEA sinalizando o não investimento exploratório
Ausência de sismos	Queimadas criminosas na Amazônia	Investimento Global em Terminais de GNL	Preço do Gás de outros Países
Disponibilidade de mão de obra qualificada	Alta incidência de raios levando a incêndios florestais	Gás Natural considerado combustível verde pela União Europeia	Tempo de 15 anos da descoberta até a produção de um campo
Boa capacidade industrial	Falta de infraestrutura para escoamento de Gás Natural	Mercado do Gás no Brasil ainda por se desenvolver	Mercado do Gás no Brasil ainda por se desenvolver
Re-injeção da maior parte do gás produzido (58Mm3/d)	Imaturidade do mercado de gás, lei nova	Veículos de transporte a gás podem reduzir emissões de transporte em 85%	Mercado segue incerto após COVID-19
Gás do Pré-Sal é associado	Consciência da população	Crescimento da Demanda na África, Índia e China para o Gás	Imagem do Brasil como destruidor da Amazonia.
Produção Nacional de Gás (30Mm3/d) capaz de substituir importação de óleo diesel (7-8 bilhões de dólares/ano)	Demora no processo legislativo	China aumentou a importação de GNL em 46milhões de m3/d em 8 meses (2019)	
	Falta de estruturas para estocagem de gás	40% da energia global vem do carvão	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

Com base na análise da Tabela 10 é importante destacar os seguintes pontos:

- O Brasil está atrasado na estratégia do Gás: a solução para o transporte e dependência do petróleo e cambio parece viável através do gás e a exportação e infraestrutura de estocagem precisam de mais atenção;
- Existe uma necessidade global por combustíveis limpos, e por um mercado de crédito de carbonos, para o qual o Brasil têm as possibilidades de atender, dada as condições geográficas;
- É preciso criar estruturas políticas, jurídicas e econômicas que permitam a vinda de clientes potenciais para os créditos de carbono e para investimentos no País;
- Há uma necessidade urgente de se trabalhar a legislação e trabalhar com a conscientização da população;
- Um trabalho sobre a imagem do País quanto a questão da Amazônia, precisa ser feito para atrair mais investidores;

- A saída da Rússia do cenário global como exportador e a recuperação dos mercados globais pós-covid precisam ser mais bem explorados.

Analisando o problema sob a perspectiva das 5 Forças de Porter e considerando o Brasil como fornecedor, competindo pelo mercado de créditos de carbono, principalmente com a certificação de floresta intacta e produção de energia verde, como o hidrogênio verde tem-se as informações conforme a Tabela 11.

Tabela 11 - Cinco Forças de Porter focadas no Brasil como fornecedor de créditos de carbono global

Fornecedores	Novos Entrantes	Concorrentes	Produtos Substitutos	Clientes
<p>Existe uma dependência nacional por equipamentos estrangeiros para a infraestrutura e serviços na área de Gás Natural,</p> <p>Equipamentos de medição para a medição e certificação dos mercados de carbono também são necessários,</p> <p>Certificadores e auditores externos,</p>	<p>Diversos Países com condições geográficas favoráveis e que já estejam atingindo as suas metas de emissões estão se preparando para o mercado.</p>	<p>Existem Países se preparando para a entrada no mercado, já existem outros que estão ativamente participando desse mercado, enquanto o Brasil ainda não possui legislação específica, que ainda está em tramitação.</p> <p>Alguns Países, apesar de não terem condições naturais favoráveis estão trabalhando para o desenvolvimento de tecnologias de captura de carbono ou de geração de hidrogênio verde, como exemplo.</p>	<p>Em muitos Países, como no caso da Polônia, ainda existe uma pressão muito forte para a manutenção da indústria do carvão, assim como alguns outros produtores de combustíveis fósseis.</p> <p>A Tecnologia de Captura e sequestro de carbono vêm evoluindo de forma significativa e o custo da captura vem reduzindo – a tecnologia azul,</p> <p>Recentemente a França anunciou a construção de novas usinas nucleares a tecnologia violeta.</p>	<p>90% do mercado está na mão de apenas um cliente, a União Europeia, quem tem uma grande força para a negociação,</p> <p>A China está buscando fornecedores para ´ir as compras´ nesse mercado.</p>

Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

O Brasil possui uma grande oportunidade para ser o protagonista nesse mercado e ganhar mais investimentos como o que vem sendo feito entre 2021 e 2022, na maior planta de hidrogênio verde do mundo em construção no Estado do Ceará. É necessário investir na imagem do País frente ao ‘mercado global’ e investir no desenvolvimento de tecnologias relacionadas ao ‘mercado verde’ para reduzir a dependência de compra dos concorrentes.

4.4 MELHORIA (*IMPROVE*)

Nesse estágio são estudadas as melhores ações para resolver os problemas do capítulo anterior, que foram classificadas em: Energias Renováveis (ER), Eficiência Energética (EE), Captura e Sequestro de Carbono (CSC) e Mecanismos

de Compensação e Créditos de Carbono (CC). Independente de qual Grupo (Agropecuária, Transporte e Resíduos), algumas ações são comuns.

- Desenvolvimento do Mercado de Carbono e certificação de empresas:
 - o Legislação específica como o PL 528/2021, em andamento;
 - o Essa ação depende de investimentos em mecanismos de medição das emissões dos gases de efeito estufa;
 - o Criação de normas técnicas relacionadas aos parâmetros de certificação.
- Criação de Incentivos para a redução da pegada de carbono, como as certificações (etiquetagem) e benefícios fiscais.

4.4.1 Agropecuária

Na etapa de análise do Grupo definido como 'Grupo Agropecuária', as principais causas de emissões: o desmatamento, a produção de gado de corte e a produção de cana de açúcar.

- Energias Renováveis:
 - o Produção de Biogás a partir de rejeitos agropecuários com um potencial de 78,15 bilhões de m³/ano colocar no glossário) de biogás (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BIOGÁS, 2020).
- Medidas de Eficiência Energética:
 - o Sistema de plantio direto e rotação da cultura, que pode resultar em até 40% na redução das emissões de Gases do Efeito Estufa (DUARTE DE OLIVEIRA, MOREIRA DE CARVALHO, et al., 2019)un,
 - o Fixação biológica de nitrogênio no plantio de cana de açúcar pode contribuir para uma redução de até 1,3 mil kg de CO₂e por hectare plantado, na lavoura do milho essa redução pode chegar a 24% (FERREIRA, 2015),

- Captura e Sequestro de Carbono:
 - o Recuperação de pastagens degradadas: a recuperação de uma área de 15 milhões de hectares, pode levar à redução de 40,2 milhões de toneladas de CO₂e por ano (EMBRAPA, 2018),
 - o Implementação de integração lavoura-pecuária-floresta, que a partir de 15% de área florestada pode ser suficiente para neutralizar o CO₂e emitido pelo sistema agropecuário (WORSLEY DE SOUZA, PULROLNIK, *et al.*, 2019), segundo parâmetros do programa REDD (Redução de Emissões de Desflorestamento e Degradação de Florestas).

4.4.2 Transporte

A Análise do 'Grupo Transporte' demonstrou que as maiores emissões estão na área de transporte rodoviário, principalmente no setor de cargas. Dessa forma, as ações mais relevantes para esse setor são.

- Energias Renováveis:
 - o Desenvolvimento de uma matriz de biogás conectada a distribuição de Gás Natural, uma vez que existe um potencial de 120 milhões de m³/dia de biogás que substituí até 70% da demanda de diesel do País (KNOPLOCH, 2021),
 - o O Gás Natural também pode ser um substituto para o diesel. Apenas com uma parte do gás que é novamente injetado nos reservatórios de petróleo seria possível obter a autonomia frente ao diesel importado (EPBR, 2021),
 - Esse ponto também demanda de uma renovação da frota de caminhões que tenham a capacidade de rodar com Gás Natural, ou com algum sistema bicomcombustível (Gás Natural-Diesel) (VOLVO, 2022).
- Eficiência Energética

- o Investimento em outros modais como o ferroviário para o transporte de cargas e de pessoas. Como exemplo apenas a ferrovia Ferrogrão, de 900km, tem o potencial de retirada de 1 bilhão de toneladas de CO₂e (MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, 2021),
 - o Recuperação de rodovias que pode levar a uma eficiência de 2,5 a 5% no consumo de combustíveis e conseqüentemente de emissões. No Brasil há uma estimativa de que 2,53 milhões de toneladas de CO₂e foram emitidas devido as condições das estradas (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, 2021).
- Captura e Sequestro de Carbono
 - o O plantio de arvores ao longo de rodovias e o uso de sistemas de microalgas, podem contribuir para a captura do carbono emitido na natureza (UOL, 2021) (UOL, 2015).

4.4.3 Resíduos

No 'Grupo Resíduos' a maior parte das emissões (96,6%) vem do metano, o que indica que a melhor solução segue a linha da energia renovável, focada na produção de biogás, que teria uma potência de 2,62 bilhões de m³/ano no que se refere ao esgotamento sanitário e rejeitos sólidos orgânicos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BIOGÁS, 2020).

4.5 CONTROLAR (*CONTROL*)

- Algumas ações já estão em andamento é quando se comparam medições líquidas e brutas é possível observar um avanço, mas é possível também aumentar a velocidade da implementação;
- Nos últimos 4 anos existem ações claras para a melhoria do cenário de políticas públicas e ações, mas é preciso mais urgência para a aprovação da PL 528/2021;
- Campanhas, a nível nacional e a nível internacional, sobre as ações do Brasil no sentido correto da transição, também precisam ser estimuladas.

A 'Matriz Elétrica Brasileira' já é limpa, mas recentes impactos, devido a alteração dos regimes de chuvas, que podem estar diretamente associados às mudanças climáticas, vêm afetando a capacidade hidroelétrica nacional. Impacto também percebido com a mudança de regimes de ventos no Mar do Norte, reduzindo a produção de energia eólica *offshore* para o Reino Unido. Ainda que sejam realizados investimentos em energias renováveis, a matriz elétrica precisa de alternativas como o Gás Natural, para dar confiabilidade a todo o sistema. O crescimento econômico não pode se basear apenas no Gás Natural, mas em outras fontes como a Energia Nuclear precisam fazer parte da matriz e crescer de forma proporcional para não criar dependências. 'Energia' é um tema estratégico e é preciso autossuficiência para evitar cenários de conflitos recentes, devido a dependência da Europa com relação a Rússia.

Os Grupos 'Agropecuária', 'Transporte' e 'Resíduos' são os principais emissores de Gases de Efeito Estufa no Brasil, o que não quer dizer que o investimento em eficiência energética, energia renovável, captura de carbono e sistemas de compensação de emissões sejam necessários.

Já existem Políticas Públicas presentes ou em desenvolvimento, mas incentivos a investimentos, como: linhas de investimento, a criação de um mercado nacional para o Gás Natural, que ajude o preço e a criação de infraestruturas de distribuição, programas de etiquetagem para produtos produzidos com menos emissões e redução de impostos para produtos verdes, são ações importantes que ajudariam a dar celeridade a transição. É importante mencionar que a fiscalização e punição também precisam ser partes da equação proposta por governos e sociedade, para que a aplicação das normas seja seguida, a exemplo do que vem sendo realizado em países da Europa.

Para que a redução nas emissões dos gases de efeito estufa aconteça, é preciso que ela seja economicamente viável para o produtor, que não deve ter perdas na lucratividade, e para o consumidor que não deve ter que pagar mais caro pelo produto verde.

5 CONCLUSÃO

O uso do Método DMAIC e demais metodologias, em conjunto com as diversas fontes documentais e bibliográficas, para este estudo, permitiu o seu desenvolvimento de forma clara e estruturada, levando ao entendimento dos problemas, em questão, e na avaliação das melhores soluções para cada caso.

O uso das Metodologias Técnicas permitiu entender quais ações, atualmente em andamento, que são: incentivos ao biogás e ao biometano, promoção do Brasil como produtor e exportador de hidrogênio verde, abertura do mercado de Gás Natural, o Plano da Agricultura de Baixo Carbono (ABC), lei para a regulação do mercado de carbono, incentivos para a produção do etanol com mais eficiência, dentre outras, porém estas iniciativas precisam ganhar mais velocidade, uma vez que como demonstrado pelo atual cenário de conflito na Europa a independência energética é estratégica para a estabilidade do País, e essa independência precisa ser livre de Gases de Efeito Estufa para atender não somente as necessidades nacionais, mas também as necessidades internacionais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BIOGÁS, 2020).

Uma forte campanha quanto a proteção da Amazônia a nível nacional e internacional precisa tomar forma para acelerar o processo de transição energética no País, uma vez que a imagem do Brasil influencia diretamente nos investimentos, que são necessários, vindo do estrangeiro.

O Brasil está bem-posicionado para a transição energética, dada a sua posição geográfica privilegiada e sua situação geopolítica, mas para que se maximize o seu potencial, há a necessidade, mais urgente, da regulamentação do mercado de carbono, e um posicionamento mais firme interna e externamente sobre a questão do combate ao desmatamento da Amazônia. Este último fato vem sendo muito discutido nos últimos anos e depõe fortemente a imagem do país frente à mídia nacional e internacional.

E assim, como em outros Países, o Gás Natural é estratégico e o desenvolvimento de um mercado associado a esta molécula pode ajudar o Brasil a reduzir o risco de apagão elétrico, dando mais confiabilidade a nossa matriz. Esta ação poderá levar à prática de preços mais competitivos do gás, uma vez que a

precificação deste não está atrelada ao mercado internacional, e que, em conjunto com políticas de investimentos em frotas de caminhões e ônibus a Gás Natural, contribui significativamente para a redução de emissões no setor de transporte. Incentivar indústrias de biogás ou biometano torna possível levar à redução de emissões de metano associadas a Pecuária e ao 'Grupo Resíduos'.

O recente conflito na Europa, entre Rússia e Ucrânia, corroborou a necessidade da criação de um novo mercado a ser explorado pela produção local de Gás Natural e Biogás.

O Brasil já trabalha na integração do biometano na matriz de distribuição de Gás Natural e considera a injeção de iniciais 5% de hidrogênio nessa rede, o que serve de incentivo para novos investimentos nessa área a exemplo da usina de Hidrogênio Verde da EDP no Ceará. O Brasil tem um enorme potencial para se tornar a maior economia verde do Mundo, mas é preciso o compromisso, em todas as escalas, do governo e o entendimento de que este é um '*Core Business*' para o País.

REFERÊNCIAS

ACOSTA-VARGAS, P. et al. Towards Industry Improvement in Manufacturing with DMAIC. **Springer Nature**, p. 341-352.

ADETUNJI, J. Natural gas is a fossil fuel, but the EU will count it as a green investment – here's why. **The Conversation**, 2022. Disponível em: <<https://theconversation.com/natural-gas-is-a-fossil-fuel-but-the-eu-will-count-it-as-a-green-investment-heres-why-175867#:~:text=The%20European%20Commission%20has%20decided,economic%20activities%20in%20the%20EU.>>. Acesso em: 3 Abril 2022.

ANP. RESOLUÇÃO Nº 685, DE 29 DE JUNHO DE 2017. **Imprensa Nacional**, 2017. Disponível em: <https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/19149639/do1-2017-06-30-resolucao-n-685-de-29-de-junho-de-2017-19149544>. Acesso em: 3 Abril 2022.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Gov.br**, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/canais_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/mistura-de-biodiesel-ao-diesel-passa-a-ser-de-13-a-partir-de-hoje-1-3>. Acesso em: 16 Abril 2022.

ASCOM MMA. Governo Federal aperfeiçoa Política Nacional de Resíduos Sólidos e cria Programa Nacional de Logística Reversa. **Ministério do Meio Ambiente**, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/governo-federal-aperfeicoa-politica-nacional-de-residuos-solidos-e-cria-programa-nacional-de-logistica-reversa>>. Acesso em: 3 Abril 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BIOGÁS. **POTENCIAL BRASILEIRO DE BIOGÁS 2020**. Associação Brasileira do Biogás. [S.l.], p. 1-28. 2020.

BABARINDE, F.; AYODELE ADIO, M. A Review of Carbon Capture and Sequestration Technology. **Journal of Energy Technology and Environment**, p. 1-11, 2020.

BALBINO CARDOSO, R. et al. AVALIAÇÃO DA ECONOMIA DE ENERGIA, ATRIBUÍDA A AÇÕES DE ETIQUETAGEM ENERGÉTICA, EM MOTORES DE INDUÇÃO NO BRASIL. **Revista Brasileira de Energia**, p. 29-47, 2009.

BARBOSA LIMA, L. J.; HAMZAGIC, M. **Transição Energética: A Nova Fronteira da Inovação**. X CICTED. Taubaté: UNITAU. 2021. p. 1-21.

CARBON FOOTPRINT. **Grid Electricity Emissions Factors v1.4**. Hampshire. 2020.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Decodificação da nota técnica sobre “Alimento e aquecimento global”**. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Brasília, p. 1-26. 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Falta de infraestrutura das rodovias brasileiras gera impactos no meio ambiente. **Confederação Nacional do Transporte**, 2021. Disponível em: <<https://cnt.org.br/agencia-cnt/falta-de-infraestrutura-das-rodovias-brasileiras-gera-impactos-no-meio-ambiente>>. Acesso em: 10 Março 2022.

CONGRESSO NACIONAL. LEI Nº 14.134, DE 8 DE ABRIL DE 2021. **DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO**, 2021. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.134-de-8-de-abril-de-2021-312904769>>. Acesso em: 18 Março 2022.

DIAS BATISTA, R. et al. Análise do cenário energético da região Norte Brasileira. **Bioenergia em Revista**, p. 87-108, Dezembro 2014.

DUARTE DE OLIVEIRA, et al. **Importância do sistema plantio direto na redução da emissão de gases de efeito estufa no Cerrado**. Embrapa. Planaltina, p. 1-12. 2019. (ISSN 1517-0187).

EMBRAPA. Como a recuperação de pastagens pode ajudar o meio ambiente? **Embrapa**, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/31735518/como-a-recuperacao-de-pastagens-pode-ajudar-o-meio-ambiente#:~:text=equivalente%20ao%20ano-,A%20recupera%C3%A7%C3%A3o%20de%2015%20milh%C3%B5es%20de%20hectares%20de%20pastagens%20degradadas,mostra>>. Acesso em: 10 Março 2022.

EMBRAPA. Plano ABC – Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas Visando à Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura. **Embrapa**, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-agricultura-de-baixo-carbono/sobre-o-tema>>. Acesso em: 18 Março 2022.

EPBR. Bolsonaro sanciona nova Lei do Gás. **EPBR**, 2021. Disponível em: <<https://epbr.com.br/bolsonaro-sanciona-nova-lei-do-gas/>>. Acesso em: 3 Abril 2022.

EPBR. Henry Hub: a nova indexação dos contratos da Petrobras | Gas Week. **YouTube**, 2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=NikwZA27SdY&t=3587s>>. Acesso em: 28 abr. 2022.

EPBR. Roadmap to Net Zero: a descarbonização da indústria de óleo | Diálogos da Transição. **YouTube**, 2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Z2bVOJBPfjw&list=PLj9X8L8I8I9Y4uVxCyuDJaxHAeMktNxQX&index=5>>. Acesso em: 05 mar. 2022.

EPBR. Roadmap to Net Zero: a descarbonização da indústria de óleo | Diálogos da Transição. **YouTube**, 2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Z2bVOJBPfjw&list=PLj9X8L8I8I9Y4uVxCyuDJaxHAeMktNxQX&index=5>>. Acesso em: 28 Abril 2022.

EPE. Empresa de Pesquisas Energéticas. **Transporte Rodoviário de Cargas Brasil - 2021**, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-626/IEA->

EPE_Brazilian_Road_Freight_Transport_Benchmarking-2021.09.09%20[PT].pdf>. Acesso em: 05 mar. 2022.

ESTADÃO. Crédito de carbono: como negociar na prática? **Estadão**, 2022. Disponível em: <<https://summitagro.estadao.com.br/sustentabilidade/credito-de-carbono-como-negociar-na-pratica/>>. Acesso em: 10 Março 2022.

EUROPEAN UNION. Joint Statement between the European Commission and the United States on European Energy Security. **European Union**, 2022. Disponível em: <https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/STATEMENT_22_2041>. Acesso em: 3 Abril 2022.

EYL-MAZZEGA, M.-A.; MATHIEU, C. The European Union and the energy Transition. In: HAFNER, M.; TAGLIAPIETRA, S. **The Geopolitics of the Global Energy Transition**. Paris: [s.n.], 2020. p. 27-45.

FAPESP; INTERACADEMY COUNCIL; ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS. **Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho**. FAPESP. São Paulo, p. 300 p. 2010.

FARIA, I. COP26: Entenda como funciona o mercado de crédito de carbono. **CNN**, 2021. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/cop26-entenda-como-funciona-o-mercado-de-credito-de-carbono/>>. Acesso em: 10 Março 2022.

FERREIRA, A. L. Fixação biológica de nitrogênio pode reduzir as emissões de GEE na agricultura. **Embrapa**, 2015. Disponível em: <[https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/8313328/fixacao-biologica-de-nitrogenio-pode-reduzir-as-emissoes-de-gee-na-agricultura#:~:text=Pesquisas%20realizadas%20pela%20Embrapa%20Agrobiologia,efeito%20estufa\)%20em%20lavouras%20de](https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/8313328/fixacao-biologica-de-nitrogenio-pode-reduzir-as-emissoes-de-gee-na-agricultura#:~:text=Pesquisas%20realizadas%20pela%20Embrapa%20Agrobiologia,efeito%20estufa)%20em%20lavouras%20de)>. Acesso em: 10 Março 2022.

FGV. **Cadernos FGV Energia: Gás Natural**. FGV. Rio de Janeiro, p. 1-80. 2014. (2358-5277).

FUSSY, P. Auto Esporte. **G1**, 2015. Disponível em: <<https://g1.globo.com/carros/noticia/2015/03/efeito-de-mais-etanol-na-gasolina-ainda-e-estudado-por-montadoras.html>>. Acesso em: 16 Abril 2022.

GOMES, I.; BRUM, C.; HOLLANDA, L. O papel do gás na transição energética. **YouTube**, 2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=3pgd80xs02E&list=PLj9X8L8I8I9Y4uVxCyuDJaxHAeMktNxQX>>. Acesso em: 3 Abril 2022.

GOUVEIA RIBEIRO DA SILVA, A. L. Eletricidade, Crescimento Económico e Desenvolvimento: uma contribuição para o estudo do caso de Moçambique. **Faculdade de Economia - Universidade do Porto**, Porto, p. 1-65, 2016.

GOVERNO DO BRASIL. Governo Federal incentiva a produção e uso sustentável do biometano. **Governo do Brasil**, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/meio-ambiente-e-clima/2022/03/governo-federal-incentiva-a-producao-e-uso-sustentavel-do-biometano>>. Acesso em: 3 Abril 2022.

HAFNER, M.; NOUSSAN, M. Technologies for the Global Energy Transition. In: HAFNER, M.; TAGLIAPIETRA, S. **The Geopolitics of the Global Energy Transition**. Milan: [s.n.], 2020. p. 177-201.

HERCULANO, D.; GIBAJA, C. Ceará receberá a primeira usina de hidrogênio verde do Brasil com operação já em 2022. **Governo do Estado do Ceará**, 2021. Disponível em: <<https://www.ceara.gov.br/2021/09/01/ceara-recebera-a-primeira-usina-de-hidrogenio-verde-do-brasil-com-operacao-ja-em-2022/>>. Acesso em: 10 Março 2022.

IEA. International Energy Agency. **Reports**, 2020. Disponível em: <<https://www.iea.org/search/analysis?q=transport%20brazil&page=5>>. Acesso em: 05 mar. 2022.

IEA. International Energy Agency. **Brazil's trucking sector has opportunities to further improve energy efficiency and cut emissions, according to new joint study**, 7 fev. 2022. Disponível em: <<https://www.iea.org/news/brazil-s-trucking-sector-has-opportunities-to-further-improve-energy-efficiency-and-cut-emissions-according-to-new-joint-study>>. Acesso em: 05 mar. 2022.

INMETRO. Tabelas de Consumo/Eficiência Energética Veículos Automotores Leves. **INMETRO**, 11 Março 2020. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos_leves_2020.pdf>.

INPE. Queimadas. **INPE**, 2022. Disponível em: <<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal>>. Acesso em: 18 Março 2022.

JUSTINO, G. Mercado de carbono: o que é e como funciona uma das principais apostas contra as mudanças climáticas. **Globo.com**, 2021. Disponível em: <<https://umsoplaneta.globo.com/clima/noticia/2021/07/08/mercado-de-carbono-o-que-e-e-como-funciona-uma-das-principais-apostas-contras-mudancas-climaticas.ghtml>>. Acesso em: 10 Março 2022.

KARCZEWSKI, M.; SZCZĘCH, L.; POLAK, F. Are We Ready for Electric Cars? **Journal of KONES Powertrain and Transport**, p. 69-74, 2019.

KHOLKAR, P.; SANGODKER, A. QESS PROJECT: REDUCTION IN SCRAP GENERATION IN PANEL MANUFACTURING COMPANY, 2019.

KNOPLOCH, C. Potencial inexplorado do biogás pode ajudar Brasil a bater meta de redução de emissões de metano. **O Globo**, 2021. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/economia/negocios/potencial-inexplorado-do-biogas-pode-ajudar-brasil-bater-meta-de-reducao-de-emissoes-de-metano-25262072>>. Acesso em: 10 Março 2022.

KUMAR, R.; SINGH, K. Agile manufacturing: a literature review and Pareto analysis. **International Journal of Quality & Reliability Management**, p. 207-222, 2020.

LOPES, L. et al. **Estudos sobre Mercado de Carbono no Mercado de Carbono no Brasil: Análise Legal de Possíveis Modelos Regulatórios**. Banco Interamericano de Desenvolvimento. Washington DC. 2015.

MACHADO, N. Lei do Hidrogênio: proposta prevê meta de inserção em gasodutos. **EPBR**, 2022. Disponível em: <<https://epbr.com.br/lei-do-hidrogenio-proposta-preve-meta-de-insercao-em-gasodutos/>>. Acesso em: 3 Abril 2022.

MARAGONI MACHADO DE ALMEIDA, P.; DE MELLO PINHO, S. R. A atratividade da firma no ambiente empresarial simulado e as cinco forças de Porter. **Revista Laboratório de Gestão Organizacional Simulada**, Volta Redonda, p. 4-10, Junho 2020.

MARQUES BRAGA JUNIOR, J.; COIMBRA LEITE COSTA, J. F. Applying chemometrics to predict metallurgical niobium recovery in weathered ore. **REM - International Engineering Journal**, Ouro Preto, p. 105-110, 2018.

MARSARO CELLA, ; LALESCA APARECIDA GUARDA, E.; MANSUELO ALVES DOMINGOS, R. DESEMPENHO ENERGÉTICO DE UM EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS: APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO DA NOVA PROPOSTA DE ETIQUETAGEM DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS. **ENTAC**, p. 1-8, 2020.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Programa ABC financia mais de 750 mil hectares com tecnologias de baixa emissão de carbono em 2020. **Gov.br**, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/programa-abc-financia-mais-de-750-mil-hectares-com-tecnologias-de-baixa-emissao-de-carbono-em-2020>>. Acesso em: 10 Março 2022.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. Investimento na infraestrutura ferroviária resulta em aumento da carga transportada por trens. **Gov.br**, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/noticias/2021/7/investimento-na-infraestrutura-ferroviaria-resulta-em-aumento-da-carga-transportada-por-trens>>. Acesso em: 10 Março 2022.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Secretária para Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. **National REDD+ Strategy**, 2016. Disponível em: <http://redd.mma.gov.br/images/publicacoes/enredd_english_web.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2022.

MINITAB. Minitab 18 Support. **Minitab**, 2022. Disponível em: <<https://support.minitab.com/en-us/minitab/18/>>. Acesso em: 18 Março 2022.

MITROVA, T.; MELNIKOV, Y. Energy Transition in Russia. **Springer**, Moscow, p. 1-8, Setembro 2019.

MROZOWSKA, S.; A. WENDT, J.; TOMASZEWSKI, K. The Challenges of Poland's Energy Transition. **MDPI**, p. 1-22, December 2021.

O'SHEA, R. et al. Using biogas to reduce natural gas consumption and greenhouse gas emissions at a large distillery. **Applied Energy**, p. 1-20, 2020.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **EMISSÕES DE GEE NO BRASIL e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o Acordo de Paris**. Observatório do Clima. [S.l.], p. 1-51. 2018.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. SEEG: Conheça as emissões de gases de efeito estufa no Brasil. **YouTube**, 2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=JgWCiY1ml9o&t=194>>. Acesso em: 05 mar. 2022.

ONDEI, V. Mercado de carbono pode ser maior que o de óleo e gás, hoje em US\$ 2 trilhões, antes de 2050. **Forber**, 2021. Disponível em: <<https://forbes.com.br/forbesesg/2021/08/mercado-de-carbono-pode-ser-maior-que-o-de-oleo-e-gas-hoje-em-us-2-trilhoes-antes-de-2050/>>. Acesso em: 3 Abril 2022.

PACHECO, C.; CASTRO, N. J. D. O GNV - Gás Natural Veicular: Principais Características Técnicas e Perspectivas de Expansão no Brasil. **Boletim do Gás Natural**, Rio de Janeiro, Novembro 2004.

PARKER, E. Plantio direto. **WWF**. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/agricultura/agr_acoes_resultados/agr_solucoes_cases_plantio2/>. Acesso em: 10 Março 2022.

PEREIRA BALES, M. et al. A AVALIAÇÃO DO PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM VEICULAR DEMONSTRA A NECESSIDADE DA MELHORIA CONTÍNUA. **SIMEA**, p. 1-11, 2015.

PODER EXECUTIVO. DECRETO Nº 10.936, DE 12 DE JANEIRO DE 2022. **DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO**, 2022. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.936-de-12-de-janeiro-de-2022-373573578>>. Acesso em: 18 Março 2022.

RAMOS, M. Projeto de Lei PL 528/2021. **Câmara dos Deputados**, 2020. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/propostas-legislativas/2270639>>. Acesso em: 18 Março 2022.

RODRIGUES TEIXEIRA, A. C. et al. PM emissions from heavy-duty trucks and their impacts on human health. **Atmospheric Environment**, v. 241, Novembro 2020.

RODRIGUEZ DELGADILLO, R.; MEDINI, K.; WUEST, T. A DMAIC Framework to Improve Quality and Sustainability in Additive Manufacturing-A Case Study. **MDPI**, p. 1-18, January 2022.

RUDDY, G. Banco do Brasil compra créditos de carbono para compensar 55 mil toneladas por R\$ 1,08 milhão. **Valor Econômico**, 2021. Disponível em: <<https://valor.globo.com/empresas/noticia/2021/12/30/banco-do-brasil-compra-creditos-de-carbono-para-compensar-55-mil-toneladas-por-r-108-milhao.ghtml>>. Acesso em: 10 Março 2022.

SARKAR, A.; RANJAN MUKHOPADHYAY, A.; KUMAR GHOSH, S. Issues in Pareto analysis and their resolution. **Total Quality Management**, p. 641-651, 2013.

SEEG. EMISSÕES TOTAIS. **SEEG**, 2020. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/total_emission>. Acesso em: 05 mar. 2022.

SEEG. EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA POR REGIÃO. **SEEG**, 2021. Disponível em: <<https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Infograficos/Municipios/seeg-regioes-infografico-2.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2022.

SIMÕES DOS SANTOS, T. et al. Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais. **Eng Sanit Ambient**, p. 595-602, 2015.

SIQUEIRA NETO, M. et al. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR): II - Emissões de CO₂ e N₂O. **Revista Brasileira Ciências Solo**, Tibagi, Agosto 2009.

T. CHALA, G.; MEKONNEN GUANGUL, F.; SHARMA, R. Biomass Energy in Malaysia-A SWOT Analysis. **IEEE Jordan International Conference on Electrical Engineering and Information Technology**, p. 875-879, 2019.

TAPETADO, P. et al. Exploring backup requirements to complement wind, solar and hydro generation in a highly renewable Spanish power system. **Energy Strategy Reviews**, p. 1-5, October 2021.

TERRA NOVA LOGISTICA. Terra Nova Logística. **Você sabe o que é a Matriz de Transportes? Entenda a composição e as principais modalidades existentes no Brasil**, 17 fev. 2022. Disponível em: <<https://terranovalogistica.com.br/blog/voce-sabe-o-que-e-a-matriz-de-transportes-entenda-a-composicao-e-as-principais-modalidades-existentis-no-brasil/>>.

TSANTOPOULOS, G.; KARASMANAKI, E. Energy Transition and Climate Change in Decision-Making Processes. **MDPI**, p. 1-3, Dezembro 2021.

UNITED NATIONS. The Clean Development Mechanism. **United Nations**, 2022. Disponível em: <<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-kyoto-protocol/mechanisms-under-the-kyoto-protocol/the-clean-development-mechanism>>. Acesso em: 2 abr. 2022.

UOL. 'Árvore de algas' absorve CO₂ com mais eficiência e combate aquecimento. **UOL**, 2015. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/redacao/2015/11/25/arvore-de-algas-absorve-dez-vezes-mais-co2-e-ajuda-a-combater-aquecimento.htm>>. Acesso em: 10 Março 2022.

UOL. Geladeira 'econômica' gasta dobro do ideal, mas mantém desconto de imposto. **Uol**, 20 Maio 2021. Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2021/05/20/geladeira-gasto-energia-etiqueta-inmetro.htm>>.

VIEIRA, H.; ARAÚJO, T. Lixões no Brasil geram 27 milhões de toneladas de CO₂ no planeta, diz estudo. **CNN**, 2021. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/lixoes-no-brasil-provocam-27-milhoes-de-toneladas-de-co2-no-planeta-diz-estudo/>>. Acesso em: 10 Março 2022.

VOLVO. Reduza sua pegada com caminhões movidos a gás. **Volvo**, 2022. Disponível em: <<https://www.volvotrucks.com.br/pt-br/trucks/alternative-fuels/gas-powered-trucks.html>>. Acesso em: 10 Março 2022.

WHO. Air pollution. **World Health Organization**, 29 Junho 2021. Disponível em: <https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1>.

WORSLEY DE SOUZA, K. et al. **Integração lavoura-pecuária-floresta como estratégia para compensação das emissões de gases de efeito estufa.** Embrapa. Planaltina, p. 1-12. 2019. (ISSN 1517-0187).

YABE MILANEZ, A.; BAPTISTA DA SILVA MAIA, G.; DUQUE GUIMARÃES, D. **BIOGÁS: EVOLUÇÃO RECENTE E POTENCIAL DE UMA NOVA FRONTEIRA DE ENERGIA RENOVÁVEL PARA O BRASIL.** BNDES. Rio de Janeiro, p. 177-216. 2021.