

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA INDUSTRIAL METALÚRGICA DE VOLTA REDONDA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL

DANIELLE ALVES DE NOVAES GOMES

QUANTIFICAÇÃO E ANÁLISE DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO
ESTUFA NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

VOLTA REDONDA
2020

DANIELLE ALVES DE NOVAES GOMES

**QUANTIFICAÇÃO E ANÁLISE DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA
NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Thiago Simonato Mozer
Coorientadora: Prof^a. Dra. Janaina da Costa Pereira Torres de Oliveira

Volta Redonda, RJ
2020

Ficha catalográfica automática - SDC/BEM
Gerada com informações fornecidas pelo autor

G633q Gomes, Danielle Alves de Novaes
Quantificação e análise das emissões de gases de efeito estufa na indústria siderúrgica / Danielle Alves de Novaes Gomes ; Thiago Simonato Mozer, orientador ; Janaina da Costa Pereira Torres de Oliveira, coorientadora. Volta Redonda, 2020. 93 f. : il.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2020.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PGTA.2020.m.14762646784>

1. Aquecimento Global. 2. Emissões de Gases de Efeito Estufa. 3. Emissões Industriais. 4. Poluição Atmosférica. 5. Produção intelectual. I. Mozer, Thiago Simonato, orientador. II. Oliveira, Janaina da Costa Pereira Torres de, coorientadora. III. Universidade Federal Fluminense. Escola de Engenharia Industrial e Metalúrgica de Volta Redonda. IV. Título.

CDD -

DANIELLE ALVES DE NOVAES GOMES

**QUANTIFICAÇÃO E ANÁLISE DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA
NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental

Aprovada em 19 de FEVEREIRO de 2020

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Thiago Simonato Mozer – UFF
Orientador



Prof. Dr. Welington Kiffer de Freitas – UFF



Prof^ª Dr^ª Ana Carolina Callegario Pereira – UniFOA

Ao meu marido e aos meus pais, os alicerces
da minha vida.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me proporcionar a sabedoria e, principalmente, a satisfação de poder desenvolver esta pesquisa que tanto contribuiu com minha formação.

Aos meus pais, Paulo Ricardo Simões de Novaes e Claudia Aparecida Alves de Novaes, que não medem esforços para estarem ao meu lado. Agradeço por cada ensinamento, por cada palavra amiga e por serem tão especiais em minha vida.

Ao meu marido, Rafael Gomes Moreira, por confiar tanto em mim e iluminar os meus dias.

À toda a minha família. Obrigada pelo apoio e por me encorajarem sempre, seja através de um abraço, de um conselho ou, simplesmente, de um sorriso.

Ao meu orientador, professor Thiago Simonato Mozer, pelo apoio, gentileza, todo o conhecimento e compreensão concedidos.

À minha coorientadora, professora Janaina da Costa Pereira Torres de Oliveira, pelo conhecimento passado e por estar sempre ao meu lado me incentivando, mesmo diante das dificuldades.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado concedida.

Aos colaboradores da empresa que foi objeto de estudo deste trabalho. Obrigada pelo apoio, incentivo, pelo conhecimento e oportunidade única de estar desenvolvendo esta pesquisa em uma organização tão comprometida.

À profissional Camila Torres da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que independente da hora, sempre se dispôs a me ajudar e a contribuir com esta pesquisa.

À República Tomba, pela amizade e por terem me acolhido com tanto carinho e atenção.

Para finalizar, agradeço ao corpo docente e discente do PGTA/UFF, processo seletivo 2018. Obrigada por cada momento e conhecimento compartilhado.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.”

Albert Einstein.

RESUMO

O efeito estufa é um fenômeno natural de suma importância para a vida na Terra: é responsável pelo processo de retenção de calor irradiado pela superfície terrestre, promovendo a manutenção da temperatura média do planeta. Porém, os efeitos de sua intensificação vêm ocasionando consequências sérias e indesejáveis. Pesquisas científicas mostram que a intensificação deste efeito natural nos últimos anos vem ocasionando mudanças climáticas, tornando o aquecimento global um assunto de urgência e destaque no meio científico. As atividades antrópicas vêm aumentando a concentração de gases de efeito estufa na troposfera, uma das camadas da atmosfera do planeta Terra. Este trabalho buscou identificar e quantificar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) de uma indústria do setor siderúrgico, onde mostrou-se extremamente importante visto a necessidade de se identificar, conhecer o perfil das emissões e quantificá-las para depois ser estudado pela organização um plano de ação efetivo. Como resultado, identificou-se que as emissões de Escopo 1 (emissões diretas da empresa compreendendo as categorias Combustão estacionária, Combustão móvel, Emissões fugitivas, Processos industriais e Efluentes) foram as maiores na indústria, representando mais de 89% das emissões totais, em $\text{CO}_{2\text{eq}}$. Dentre estas, a categoria Combustão estacionária teve grande representatividade, principalmente pelo uso do gás natural e, em segundo, do carvão vegetal. As emissões de CO_2 biogênico mostraram a importância de as organizações aderirem a biomassa como matéria-prima em seus processos, reduzindo, assim, suas emissões de GEE para a atmosfera. As Emissões de Escopo 2 (emissões indiretas, compreendendo a categoria Energia) representaram 10,87% do total das emissões em $\text{CO}_{2\text{eq}}$, isto porque a configuração da matriz energética brasileira colabora para este cenário. A metodologia abordada (*GHG Protocol* versão 2018.1.4) se mostrou positiva e satisfatória para o cálculo das emissões para um reporte maior (quantitativo anual). Porém, para que se alcançasse um controle diferencial que proporcionasse um indicador para a organização, foi necessário realizar uma adaptação da ferramenta para um reporte mensal, em que o resultado foi acertado e oportuno, atendendo aos interesses da empresa. Trabalhar visando a implantação de ações de melhorias no controle operacional, substituição de equipamentos por outros mais eficientes, buscando sempre a eficiência energética e do seu próprio processo, é a melhor alternativa para reduzir as emissões corporativas de GEE. A definição da estratégia a ser adotada dependerá da relação custo/benefício de cada ação e de sua significância.

Palavras-chave: Aquecimento global. Emissões de CO_2 . Emissões industriais. Gases de efeito estufa. Poluição atmosférica.

ABSTRACT

The greenhouse effect is a natural phenomenon of extremely importance for life on Earth: it is responsible for the process of heat retention radiated by the earth's surface, promoting the maintenance of the planet's average temperature. However, its intensification has caused serious and undesirable consequences. Scientific research shows that the intensification of this natural effect in the last years has caused climate change, making global warming a matter of urgency and highlight in the scientific world. The anthropic activities have increased the concentration of greenhouse gases in the troposphere, one of the layers of the atmosphere of the Earth. This work aimed to identify and quantify greenhouse gas (GHG) emissions of a steel industry, where it was extremely important considering the need to identify, know the profile of emissions and quantify them for a later study an effective action plan by the organization. As a result, the Scope 1 emissions (direct emissions of the company comprising Stationary Combustion, Mobile Combustion, Fugitive Emissions, Industrial Processes and Effluents) were identified as the largest emissions in industry, representing for more than 89% of the total emissions, in CO_{2eq}. Among them, the Stationary Combustion category was highly representative, mainly for the use of natural gas and secondly for charcoal. Biogenic CO₂ emissions have shown the importance of organizations adhering to the biomass as a raw material in their processes, thereby reducing their greenhouse gas emissions to the atmosphere. The Scope 2 emissions (indirect emissions, comprising the Energy category) represented 10.87% of the total CO_{2eq} emissions, according to the layout of the Brazilian energy matrix that contributes to this trend. The studied methodology was positive and satisfactory for the calculation of the emissions for a larger report (annual quantitative). However, in order to achieve differential control that would provide an indicator for the organization, it was necessary to adapt the tool to a monthly report, which the result was correct and timely, meeting the company's interests. Working to implement actions for improvements in operational control, replacing traditional equipments for other ones more efficient, always seeking energy efficiency and its own process, is the best alternative to reduce corporate GHG emissions. The definition of the strategy to be adopted will depend on the cost-benefit ratio of each action and its significance.

Keywords: Global warming. Emissions of CO₂. Industrial emissions. Greenhouse gases. Atmospheric pollution.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Apresentação esquemática das camadas atmosféricas com dados de altitude, temperaturas e pressões, p. 21

Figura 2 – Esquema ilustrativo do Efeito Estufa, p. 24

Figura 3 – Concentração de Dióxido de Carbono na atmosfera terrestre, p. 25

Figura 4 – Total anual de emissões antropogênicas de GEE no mundo do período compreendido entre 1970 a 2010, p. 26

Figura 5 – Linha do tempo com as principais reuniões selecionadas, p. 32

Figura 6 – Situação das Políticas Públicas de Mudanças Climáticas no território brasileiro, p. 35

Figura 7 – Fluxo simplificado de produção da siderurgia, p. 43

Figura 8 – Esquema ilustrativo contendo as etapas que consistiram este trabalho, p. 46

Figura 9 – Emissões totais por Escopo em toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO_{2eq}), p. 65

Figura 10 – Emissão de gases de efeito estufa do Escopo 1 por categoria, p. 66

Figura 11 – Emissões em toneladas de CO_2 biogênico, p. 68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – As principais fontes dos gases de efeito estufa de origem antropogênica, p. 27

Tabela 2 – Os gases de efeito estufa e seus respectivos GWP, p. 28

Tabela 3 – Fontes de Emissões de GEE levantadas para a Empresa, p. 48

Tabela 4 – Consumo relacionado às emissões de Escopo 1 da categoria Combustão Estacionária, p. 50

Tabela 5 – Consumo relacionado às emissões de Escopo 1 da categoria Combustão Móvel, p. 51

Tabela 6 – Consumo relacionado às emissões de Escopo 1 da categoria Emissões Fugitivas, p. 53

Tabela 7 – Consumo relacionado às emissões de Escopo 1 da categoria Processos Industriais, p. 54

Tabela 8 – Valores referentes ao teor de carbono de determinados materiais e seus fatores de emissão calculados, p. 56

Tabela 9 – Valores referentes às emissões de gases de efeito estufa em toneladas de CO₂, p. 56

Tabela 10 – Contribuição per capita de esgoto e carga orgânica sanitária unitária, em atividades industriais, estabelecimentos comerciais e canteiro de obras, p. 57

Tabela 11 – Consumo relacionado às emissões de Escopo 2, p. 59

Tabela 12 – Emissões de gases de efeito estufa encontrados nas ferramentas utilizadas da categoria Combustão estacionária, p. 61

Tabela 13 – Emissões de gases de efeito estufa encontrados nas ferramentas utilizadas da categoria Combustão móvel, p. 61

Tabela 14 – Emissões de gases de efeito estufa encontrados nas ferramentas utilizadas das categorias Emissões fugitivas e Processos industriais, p. 62

Tabela 15 – Emissões de gases de efeito estufa encontrados nas ferramentas utilizadas das categorias Efluentes e Energia, p. 63

Tabela 16 – Emissão total de gases efeito estufa em toneladas, p. 64

Tabela 17 – Emissão total de gases de efeito estufa em toneladas de CO_{2eq}, p. 64

Tabela 18 – Resumo das emissões de GEE da organização, por escopo e categoria, p. 66

Tabela 19 – Detalhamento das emissões de gases de efeito estufa da categoria Combustão estacionária, p. 67

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AND	Autoridade Nacional Designada
Ar	Argônio
BEN	Balanço Energético Nacional
CCS	Carbon Capture and Storage
CEBDS	Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
CH ₄	Metano
CMMC	Comissão Mista Permanente sobre Mudanças Climáticas
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
CO _{2eq}	Equivalência em Dióxido de Carbono
COP	Conferência das Partes
DEFRA	Department for Environment, Food & Rural Affairs
DNA	Deoxyribonucleic Acid
EOD	Entidade Nacional Designada
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EUA	Estados Unidos da América
FGVces	Centro de Estudos em Sustentabilidade
FISPQ	Ficha de Informação de Segurança para Produtos Químicos
GEE	Gases de Efeito Estufa

GHG	Greenhouse Gas
GWP	Global Warming Potential
He	Hélio
HFCs	Hidrofluorcarbonos
H ₂ O	Fórmula química de composição da água
INDC	Intended National Determinate Contribution
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Organization for Standardization
Kr	Criptônio
MBRE	Mercado Brasileiro de Redução de Emissões
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MMA	Ministério do Meio Ambiente
N ₂	Nitrogênio
Ne	Neônio
NDC	National Determinate Contribution
NF ₃	Trifluoreto de Nitrogênio
N ₂ O	Óxido Nitroso
O ₂	Oxigênio
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto

PFCs	Perfluorcarbonos
PFPE	Projetos Florestais de Pequena Escala
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
PPM	Parte Por Milhão
RCEs	Reduções Certificadas de Emissões
REDD	Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação florestal
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SF ₆	Hexafluoreto de Enxofre
SIN	Sistema Interligado Nacional
SSMA	Saúde, Segurança e Meio ambiente
T	Toneladas
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WRI	World Resources Institute
µm	Micrômetro

SUMÁRIO

- 1 INTRODUÇÃO, p. 18

- 2 OBJETIVOS, p. 20
 - 2.1 OBJETIVO GERAL, p. 20
 - 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS, p. 20

- 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, p. 21
 - 3.1 A ATMOSFERA, p. 21
 - 3.2 A POLUIÇÃO DO AR, p. 22
 - 3.3 O EFEITO ESTUFA E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS, p. 23
 - 3.4 MEIO AMBIENTE E ECONOMIA: ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS, p. 31
 - 3.4.1 A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, p. 31
 - 3.4.2 A Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), p. 34
 - 3.4.3 Sistema Normativo Jurídico Brasileiro voltado para as Mudanças Climáticas, p. 35
 - 3.4.4 O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e o Mercado de Carbono, p. 36
 - 3.5 QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA, p. 38
 - 3.5.1 O Programa Brasileiro GHG Protocol, p. 39
 - 3.5.2 A Ferramenta de Cálculo do Programa GHG Protocol, p. 40

- 4 MATERIAIS E MÉTODOS, p. 42
 - 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA, p. 42
 - 4.2 A INDÚSTRIA SIDERÚRGICA, p. 43
 - 4.3 IDENTIFICAÇÃO DAS FONTES E QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE, p. 44

- 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES, p. 47
 - 5.1 IDENTIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE ATRAVÉS DA FERRAMENTA *GHG PROTOCOL*, p. 47
 - 5.1.1 Combustão Estacionária, p. 49
 - 5.1.2 Combustão Móvel, p. 51
 - 5.1.3 Emissões Fugitivas, p. 52
 - 5.1.4 Processos Industriais, p. 53

5.1.5 Efluentes, p. 57

5.1.6 Energia, p. 59

5.1.7 Adaptação da Ferramenta do Programa Brasileiro *GHG Protocol* para um reporte mensal, p. 59

5.1.8 Síntese dos Resultados da Ferramenta *GHG Protocol* (Ferramenta original do Programa), p. 64

6 CONCLUSÃO E SUGESTÕES, p. 71

6.1 CONCLUSÃO, p. 71

6.2 SUGESTÕES, p. 72

7 REFERÊNCIAS, p. 74

8 APÊNDICES, p.80

8.1 RESUMO DAS REUNIÕES DA CONFERÊNCIA DAS PARTES (COP), p. 80

8.2 RESUMO DA MATÉRIA LEGISLATIVA BRASILEIRA FEDERAL E ESTADUAL REFERENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS, p.86

1 INTRODUÇÃO

O capitalismo é o sistema de produção que mais gerou riqueza material. Antes da Revolução Industrial o ritmo de crescimento econômico e o volume de produção de bens e serviços eram singelos. Neste processo destacam-se os combustíveis fósseis que foram essenciais na evolução da economia nos últimos dois séculos, mas também trouxeram efeitos negativos: provocaram o aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE) através de sua queima para a geração de energia nos processos industriais. Esses gases, em excesso, provocam poluição, doenças respiratórias, tem mudado a química da atmosfera e acelerado o fenômeno do aquecimento global (ALVES, 2017).

Os processos produtivos foram estabelecidos para suprir as necessidades humanas na forma de produtos e energia e estes estão diretamente ligados à poluição atmosférica. Durante muitos anos, a economia e o setor produtivo ignoraram os efeitos negativos das atividades antrópicas. Havia o pensamento equívoco de que o capital natural fosse ilimitado e o ambiente capaz, por si só, de absorver as externalidades negativas, isto é, os efeitos resultantes da intervenção humana no meio ambiente (UGAYA et al., 2013).

Sabe-se que o setor industrial também tem suas externalidades positivas. É um dos mais importantes setores para assegurar uma economia, compondo uma parcela importante no desenvolvimento de um país, principalmente, por ser uma atividade que gera milhares de empregos. Deste modo, apresenta uma relação direta com o PIB (Produto Interno Bruto) de uma nação que, segundo Barbosa et al. (2016), é o principal indicador de crescimento econômico que se constitui da soma de toda atividade produtiva na indústria, agricultura e nos serviços, num dado período.

Dentro do setor industrial, a atividade siderúrgica destaca-se por ser uma indústria de base que possui um papel essencial no crescimento econômico, uma vez que é fornecedora de insumos que mantem diversos segmentos do mercado. É grande consumidora de energia e de materiais, do mesmo modo, também é responsável por um significativo impacto ambiental negativo, em função de sua extensa quantidade de reações físico-químicas envolvidas no processo de fabricação do aço (CARVALHO; MESQUITA; ARAÚJO, 2015).

Diante do exposto, surgem questionamentos em como conciliar as necessidades do homem por produtos e manter o desenvolvimento econômico sem degradar o meio ambiente. Segundo Alves (2017), atualmente, o homem volta o seu olhar para a natureza, isso diante de todas as consequências que a poluição e a degradação ao meio ambiente trouxeram. É

evidente que o desenvolvimento econômico provoca um progresso humano, porém tem ocasionado problemas ambientais e mudanças climáticas.

Segundo Heugues (2012), entre os problemas ambientais globais enfrentados, a mudança climática é considerada, atualmente, a mais séria. Este não é um problema pontual, que afeta apenas alguns países, mas sim, um transtorno de caráter global em que depende da participação e engajamento de todas as nações. Por consequência disso, para que seja alcançado o objetivo de redução/estabilização das emissões de GEE, é necessário implementar negociações e acordos ambientais internacionais.

O mundo caminha para um período com maiores restrições ambientais e a transição para uma economia de baixo carbono é irremediável (PBMC, 2016). É certo que eventos naturais como erupções vulcânicas e as variações na radiação solar têm efeitos na temperatura do planeta. As erupções, por exemplo, transportam gases e cinzas na atmosfera superior. Esses gases acabam contribuindo com a formação de nuvens, causando a redução da temperatura global por um período. No entanto, os vulcões também emitem grandes quantidades de dióxido de carbono e vapor d'água, o que contribui para o aquecimento global, mas é importante salientar que a quantidade de dióxido de carbono e vapor d'água emitidos pelos vulcões é muito pequena se comparadas às emissões humanas (MAN; ZHOU; JUNGCLAUS, 2014; AL-GHUSSAIN, 2018).

Este trabalho objetivou-se em realizar um inventário completo das emissões de gases de efeito estufa de uma indústria siderúrgica, através da ferramenta do Programa Brasileiro *GHG Protocol*. Observou-se que algumas das ferramentas atuais disponíveis, inclusive a ferramenta estudada e utilizada neste trabalho para a quantificação das emissões de GEE, proporcionam apenas um reporte anual e ter um controle em um menor período pode permitir ações mais imediatistas e eficientes. Assim, foi feita uma adaptação da ferramenta utilizada para um reporte mensal de forma que esta sirva como um indicador para a empresa e proporcione a ela um controle mais eficaz.

Pesquisas como esta, com a finalidade de avaliação e controle das emissões de GEE, se apresentam como uma medida para início de reversão deste cenário de grandes emissões que vem causando o aumento da temperatura média da superfície do planeta, cujos efeitos começaram a ser observados desde a Revolução Industrial. Podem servir como referência e embasamento para outras indústrias, possibilitando-as de utilizarem dos conhecimentos e resultados apresentados.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Identificar e quantificar as emissões de gases de efeito estufa de uma empresa do setor siderúrgico.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar as emissões de GEE para a atmosfera da empresa em estudo;
- Analisar qualitativa e quantitativamente as emissões associadas;
- Adaptar uma ferramenta de quantificação de emissões corporativas de GEE de modo que seja possível um reporte mensal dos lançamentos, proporcionando um controle mais efetivo para a indústria.

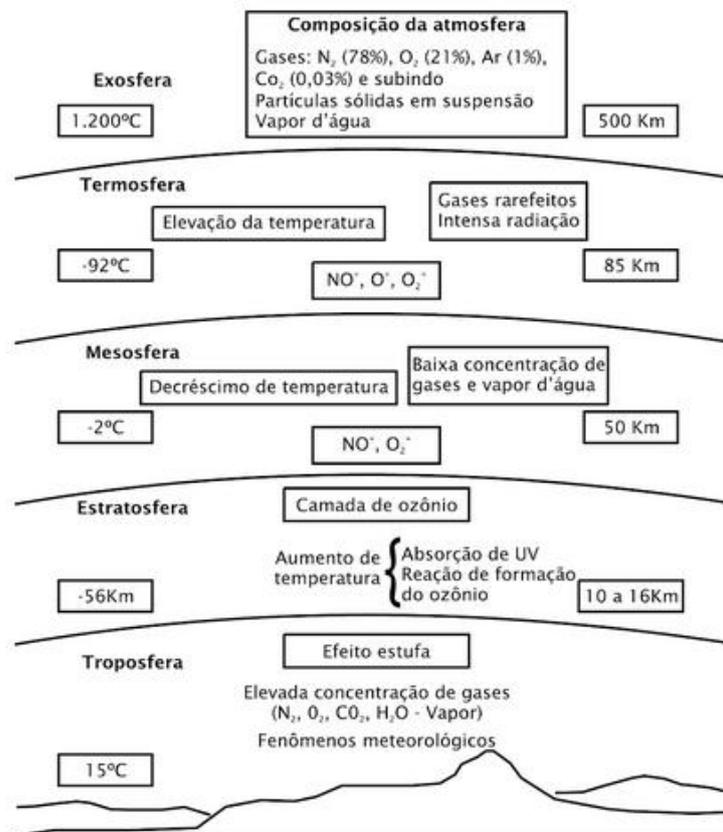
3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 A ATMOSFERA

A atmosfera é uma camada de gás que envolve um planeta, sendo que em alguns corpos planetários ela é quase inexistente. A atmosfera terrestre contém água nas suas três fases, o que foi essencial para o desenvolvimento da vida no planeta. Sua evolução não é completamente compreendida: acredita-se que resultou de uma liberação gradual de gases do interior do planeta quanto as atividades metabólicas das formas de vida (PIELKE, 2015).

É esta camada de gás que protege os seres humanos da exposição nociva aos raios cósmicos. Estes têm sua origem no espaço produzidos por diferentes fontes, como sol e estrelas, e são formados por átomos ionizados. Se esses raios atingissem a superfície da Terra causariam efeitos graves, como danos ao DNA das células dos seres vivos. Conforme ilustra a Figura 1, a atmosfera apresenta divisões de camadas, cujas composições variam e são descritas pelo gradiente térmico em função da altitude (VIEIRA, 2009).

Figura 1 – Apresentação esquemática das camadas atmosféricas com dados de altitude, temperaturas e pressões.



Fonte: Vieira (2009).

Segundo Pielke (2015), a atmosfera da Terra é composta por 78,08% de nitrogênio (N₂); 20,95% de oxigênio (O₂); 0,93% de argônio (Ar); entre 0 e 4% de água (H₂O); e 0,04% de dióxido de carbono (CO₂). Gases inertes, como neônio (Ne), hélio (He) e criptônio (Kr), e outros constituintes, como óxidos de nitrogênio, compostos de enxofre e compostos de ozônio, são encontrados em quantidades menores.

A concentração dos gases permanentes (nitrogênio, oxigênio e argônio) não se altera de um dia para o outro, diferente dos gases traços em que sua porcentagem pode mudar diária, sazonal e anualmente. Dentre estes últimos, estão o dióxido de carbono, o metano, óxidos nitrosos e o ozônio (AL-GHUSSAIN, 2018; NORTH CAROLINA CLIMATE OFFICE, 2019).

3.2 A POLUIÇÃO DO AR

Quando a capacidade natural de depuração da atmosfera é ultrapassada, ocorre o que se denomina poluição do ar ou atmosférica, ocasionando o acúmulo de substâncias prejudiciais à vida. Um dos principais responsáveis desta degradação é o setor industrial. A indústria consome 37% da energia mundial e emite 50% de dióxido de carbono (CO₂), 90% dos óxidos de enxofre e diversos produtos químicos que ameaçam a destruição da camada de ozônio. Também é responsável por produzir 2100 milhões de toneladas de resíduos sólidos e 338 milhões de toneladas de matéria residual perigosa por ano (MEDEIROS, 2005).

A presença de poluentes na atmosfera pode ser observada independente da ação do homem. A atmosfera recebe vários gases de fontes naturais, como por exemplo as atividades vulcânicas e as queimadas em épocas de estiagem, mas as atividades antropogênicas são as maiores responsáveis pela intensificação da poluição atmosférica (SILVA, 2012). Ressalta-se que somente a poluição causada por atividades humanas, como a indústria e o transporte, por exemplo, está sujeita a mitigação e controle (NATHANSON, 2011).

De acordo com a Resolução CONAMA Nº 491/2018, entende-se como poluente atmosférico:

qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade (BRASIL, 2018).

A poluição atmosférica e a presença de poluentes no ar podem ser prejudiciais para a vida humana, vegetal e/ou animal, podendo também afetar estruturas e materiais produzidos pelo homem e ocasionar alterações nas condições climáticas e meteorológicas. A preocupação com esta poluição não é recente, é diretamente associada à queima do carvão e relacionada com o bem-estar e a saúde da população (VIEIRA, 2009).

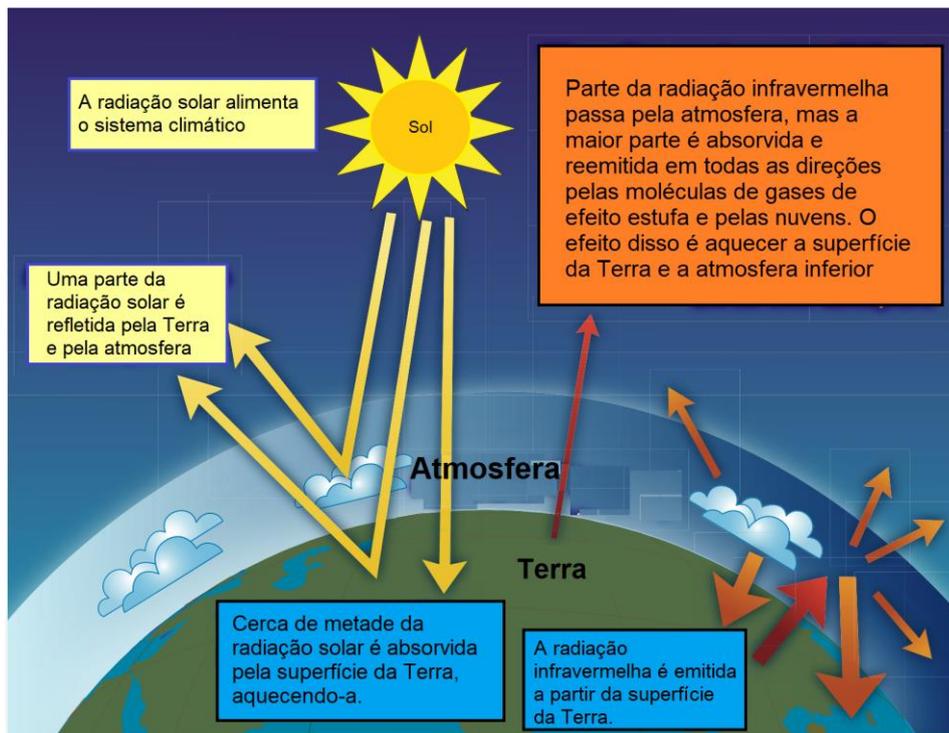
3.3 O EFEITO ESTUFA E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O Sol é a fonte primária de energia que aquece o planeta Terra. Ele emite radiação eletromagnética principalmente nos comprimentos de onda entre 0,1 e 4,0 μm , chamada radiação solar ou de ondas curtas. A atmosfera terrestre permite que a maior parte da radiação solar passe e alcance a superfície do planeta. Segundo a Lei de Stefan-Boltzmann um corpo aquecido emite radiação infravermelha térmica proporcionalmente à quarta potência de sua temperatura absoluta. Para a gama de temperaturas dos corpos, encontrados tanto na superfície como na atmosfera terrestre, a radiação emitida é denominada radiação de ondas longas, tendo os comprimentos entre 4,0 e 50 μm (NISHI, 2003).

O efeito estufa é um fenômeno natural que causa um aumento na capacidade do planeta em acumular energia na forma de calor (UGAYA et al., 2013), ou seja, é a propriedade da atmosfera que permite a passagem das ondas curtas, provenientes do Sol, mas que aprisiona boa parte das ondas longas, emitidas pela superfície e pela atmosfera (NISHI, 2003).

Em outras palavras, esta designação é aplicada ao fenômeno de retenção da radiação solar pela atmosfera terrestre através de uma camada de gases, denominados gases de efeito estufa (MOSS et al., 2010). Graças a este processo natural, a temperatura média global do ar, próxima à superfície, é de cerca de 15°C. Caso não existisse, a temperatura chegaria a -18°C. Sendo assim, o efeito estufa é essencial para que exista a vida como se conhece no planeta, pois é o que gera condições para tanto (NISHI, 2003). A Figura 2 representa esquematicamente este fenômeno.

Figura 2 – Esquema ilustrativo do Efeito Estufa.



Fonte: adaptada de IPCC (2019). Disponível em: <https://wg1.ipcc.ch/publications/wg1-ar4/faq/wg1_faq-1.3.html>. Acesso em 23 jul. 2019.

De acordo com Silva (2012), cerca de 50% dessa luz incidida pelo Sol sobre o planeta consegue alcançar a superfície e é absorvida. Outros 20% são absorvidos por nuvens, vapor d'água, aerossóis e gases como o ozônio. Os 30% restantes são refletidos de volta para o espaço por corpos refletivos sem a ocorrência de absorção.

Os gases de efeito estufa são constituintes gasosos, podendo ser originados de fontes naturais ou antrópicas, sendo estes: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) e hexafluoreto de Enxofre (SF_6) (RIO DE JANEIRO, 2012). O Trifluoreto de Nitrogênio (NF_3) também é um GEE, porém começou a ser controlado a partir do segundo período de compromisso firmado no Protocolo de Quioto¹.

O aumento da concentração dos gases estufas na troposfera (camada da atmosfera em que os GEE's estão presentes) é um fenômeno que se denomina aquecimento global, que é decorrente das atividades antrópicas que emitem para a atmosfera uma quantidade de gases

¹ Protocolo à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima que requer a redução de emissões de GEE (será melhor abordado no decorrer deste trabalho).

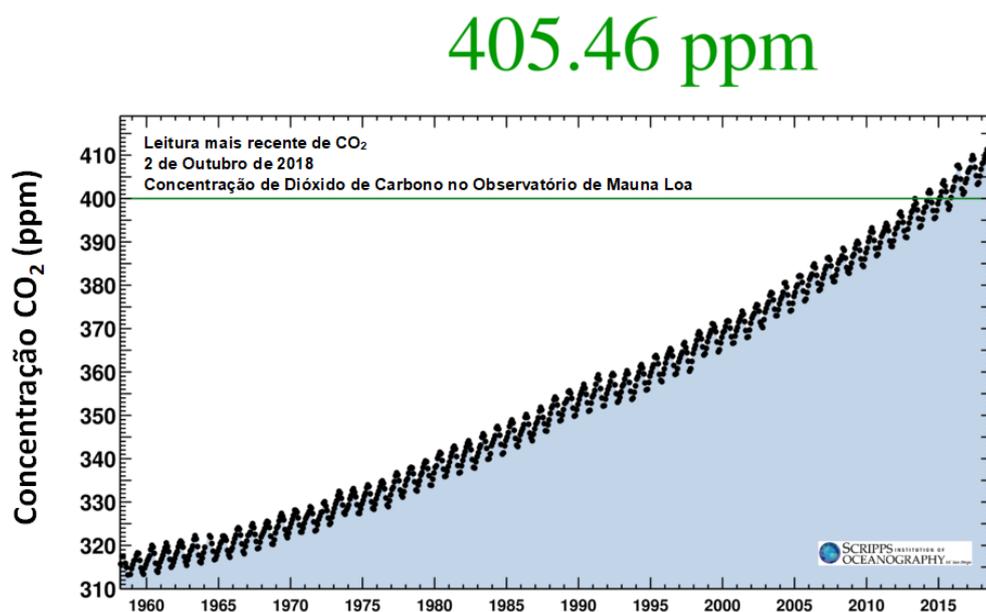
superior ao que ocorre pelos fenômenos naturais elevando, assim, a temperatura média da superfície do planeta (VIEIRA, 2009).

A porcentagem referente à concentração desses gases na atmosfera varia diária, sazonal e anualmente e eles possuem propriedades físicas e químicas que os fazem interagir com a radiação solar e a luz infravermelha emitida do planeta que podem afetar o balanço energético da Terra. Por esses motivos, a comunidade científica vem se mantendo atenta ao aumento observado da concentração dos gases de efeito estufa (NORTH CAROLINA CLIMATE OFFICE, 2019).

O dióxido de carbono (CO_2) é conhecido por ser um dos principais gases causadores do Efeito Estufa. A necessidade humana em se alimentar, se transportar e fornecer energia para mais de sete bilhões de pessoas (população mundial), bem como a elevada taxa de exploração dos recursos naturais com a crescente industrialização, aumentou significativamente a concentração de CO_2 na atmosfera (FARIAS et al., 2013).

A Curva de *Keeling* é um registro contínuo das concentrações de dióxido de carbono na atmosfera terrestre, medidas no topo do vulcão *Mauna Loa*, no Havaí. Esta indica que a presença desse elemento no ar vem aumentando desde o início das medições. Atualmente, a concentração de dióxido de carbono já ultrapassa 400 partes por milhão, ou seja, por cada milhão de moléculas de diferentes gases na atmosfera há mais de 400 de dióxido de carbono (Figura 3).

Figura 3 – Concentração de Dióxido de Carbono na atmosfera terrestre.

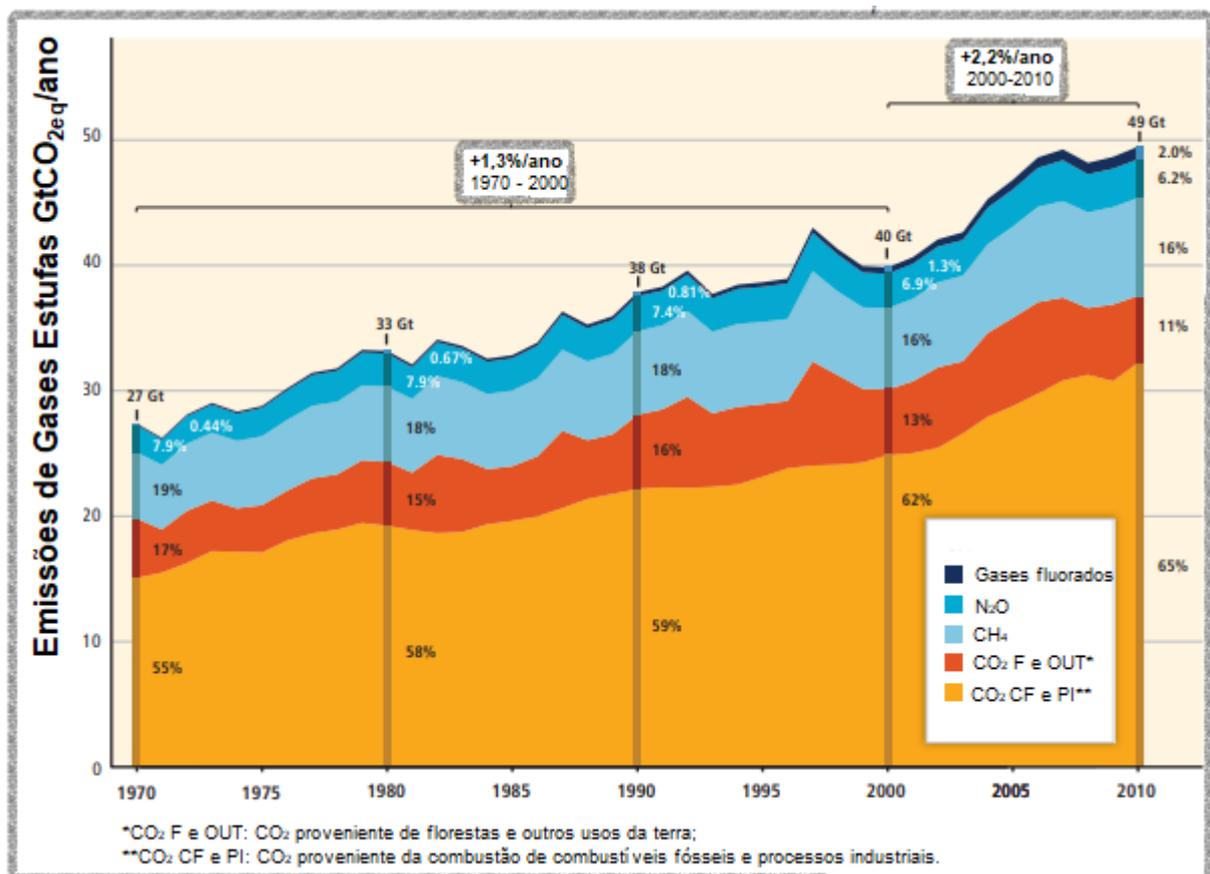


Fonte: adaptada de Scripps Institution of Oceanography (2018). Disponível em <<https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/>>. Acesso em 04 out. 2018.

As emissões de gases estufas cresceram cerca de 60% desde o início da década de 1990 até o ano de 2017. As causas principais associadas a este aumento se devem à infraestrutura de produção de energia do planeta e às emissões associadas ao desmatamento de florestas tropicais (CEBDS, 2018). Devido ao consumo de energia gerada a partir da queima de combustíveis fósseis e às emissões dos processos de transformação de seus insumos em produtos, a atividade industrial também contribui significativamente com o aumento da concentração de gases de efeito estufa (BRASIL, 2013).

A Figura 4 ilustra este aumento das emissões de GEE por fontes antropogênicas, especificamente do período compreendido entre 1970 e 2010.

Figura 4 – Total anual de emissões antropogênicas de GEE no mundo do período compreendido entre 1970 a 2010.



Fonte: adaptada de IPCC (2014). Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_summary-for-policymakers.pdf>. Acesso em: 01 out. 2019.

Como representado na Figura 4, entre os anos de 2000 e 2010, as emissões de GEE atingiram seus valores mais altos, chegando a um quantitativo de 49 GtCO₂eq/ano em 2010. As emissões de CO₂ ligadas à queima de combustíveis fósseis e aos processos industriais

contribuíram com cerca de 78% do aumento total das emissões de GEE do período compreendido entre 1970 e 2010 (IPCC, 2014). Segundo um estudo feito pela Organização Social Economia e Energia em 2007, o setor siderúrgico (ferro gusa e aço) é o que representa uma maior participação nas emissões industriais sendo, em 1994, responsável pela metade das emissões no setor.

As atividades antrópicas, em geral, já cresceram em torno de 1°C a temperatura média da Terra, com probabilidade de atingir 1,5°C, entre 2030 e 2052. Se não forem assumidas mudanças em nível global para limitar este aquecimento, as temperaturas globais podem ainda chegar a 2°C acima dos níveis pré-industriais. Permitir este aumento significa assumir perda de habitats naturais e de espécies, redução de calotas polares e o aumento do nível do mar, com sérias consequências para a saúde humana, seus meios de subsistência, segurança e crescimento econômico (IPCC, 2018). A Tabela 1 resume as principais fontes antrópicas de GEE.

Tabela 1 – As principais fontes dos gases de efeito estufa de origem antropogênica.

Gás de Efeito Estufa (GEE)	Principais Fontes
Dióxido de Carbono (CO ₂)	Queima de combustíveis fósseis; transportes e equipamentos fixos; desmatamento; processos industriais.
Metano (CH ₄)	Queima de combustíveis; tratamento de resíduos sólidos e efluentes; decomposição de matéria orgânica em aterros sanitários; produção de gás natural; pecuária.
Óxido Nitroso (N ₂ O)	Manejo do solo; queima de combustíveis; produção e uso de fertilizantes.
Hidrofluorcarbonos (HFCs)	Gases Refrigerantes e produção de semicondutores.
Perfluorcarbonos (PFCs)	Produção de alumínio e indústria de semicondutores.
Hexafluoreto de Enxofre (SF ₆)	Isolante de sistemas elétricos e produção de magnésio.
Trifluoreto de Nitrogênio (NF ₃)	Indústria de semicondutores; produção de telas LCD; produção de células solares fotovoltaicas.

Fonte: elaborada pela autora com base em Ecouniverso (2019).

A quantidade que a atmosfera pode absorver ou assimilar os gases causadores do efeito estufa é de 3 trilhões de toneladas. Essa quantidade é o orçamento de carbono para a

humanidade durante dois séculos (desde 1900 até 2100) que, se não forem limitados, vão gerar um aquecimento global superior a 2°C (cientistas afirmaram que 1,5°C é o limite de aumento da temperatura para que não soframos as consequências do aumento dos níveis dos oceanos). Em 2010, já havia sido consumido dois terços deste orçamento, restando 1 trilhão de toneladas disponíveis para emitir. Se as emissões continuarem nos níveis atuais, esse orçamento só durará até 2030. Por isso, é necessário limpar a economia e, para isso, todos precisam fazer uma gestão de suas emissões (EAESP, 2016).

Esse aumento das emissões de gases de efeito estufa, que possui ligação direta com as atividades antrópicas e tem provocado mudanças no clima a nível global, apresenta sérias consequências, dentre elas são impactos na saúde humana, problemas com as áreas agrícolas, elevação do nível do mar, escassez de recursos hídricos e perda significativa da biodiversidade (ABNT, 2015). São diversas as fontes de emissão desses gases. A maior parte das emissões causadoras do efeito estufa está relacionada a gases que contêm carbono, principalmente, dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄). As fontes de energia conhecidas como fósseis (gás natural, carvão mineral e petróleo) têm sua energia química armazenada sob a forma de compostos de carbono (ORGANIZAÇÃO SOCIAL ECONOMIA E ENERGIA, 2007).

De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), os gases de efeito estufa apresentam diferentes potenciais de aquecimento global (em inglês, *Global Warming Potential – GWP*). Este potencial mede o impacto de aquecimento que os gases de efeito estufa produzem na atmosfera, relativo ao dióxido de carbono (CO₂ é o GEE de referência). Esses valores estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 – Os gases de efeito estufa e seus respectivos GWP.

Gás - Nome comum	GWP
Dióxido de Carbono	1
Metano	25
Óxido Nitroso	298
Perfluorcarbonos	7.390 a 17.700
Hidrofluorcarbonos	12 a 14.800
Trifluoreto de Nitrogênio	17.200
Hexafluoreto de Enxofre	22.800

Fonte: elaborada pela autora com base nos dados da Ferramenta *GHG Protocol* Brasil (versão 2018.1.4). Horizonte de 100 anos (2019).

Em um Inventário de Emissões de Gases Estufas, esses valores de GWP são usados para multiplicar a quantidade de cada GEE por esse número e, assim, transformá-los em $\text{CO}_{2\text{eq}}^2$ (dióxido de carbono equivalente). Ressalta-se que a maioria dos inventários não contém todos os sete gases em suas atividades.

Os efeitos de longo prazo e alcance causados por esses gases na química atmosférica e no clima foram observados e, desde então, esforços internacionais de cooperação vêm sendo realizados para controlá-los, sendo esses determinados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América como uma ameaça à saúde humana e poderiam estar sujeitos a regulamentação como poluentes do ar (NATHANSON, 2011).

O cenário das emissões globais de GEE tem se mostrado de forma indesejável. As emissões globais de dióxido de carbono provenientes de dois setores (energia e indústria) aumentaram em 2017, após um período de três anos de estabilização (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2018).

A ligação entre a economia e o meio ambiente é um tema central na pesquisa econômica e política, particularmente ao que se refere aos objetivos do desenvolvimento sustentável (CIFCI; OLIVER, 2018). Não há desenvolvimento com poluição nula, mas é possível mitigar os efeitos negativos desta visando a sustentabilidade. Caso as emissões de GEE se mantiverem nas taxas atuais, os países sofrerão sérias consequências. Estima-se que o Brasil, por exemplo, terá um aumento na sua temperatura em torno de 4°C (CEBDS, 2018).

Os países mais pobres sofrerão as piores consequências, por serem menos preparados para lidar com essas mudanças rápidas. Os habitats mudarão tão acentuadamente que muitas espécies não conseguirão se adaptar, causando a extinção de animais e plantas. Além disso, doenças como Malária e desnutrição se tornarão mais comuns ameaçando a saúde de milhões de pessoas (WATTS et al., 2015).

Segundo a Comissão Mista Permanente sobre Mudanças Climáticas (CMMC, 2013), os maiores prejuízos socioambientais e econômicos no Brasil entre os cenários de alteração climática, são: o agravamento da escassez de oferta hídrica no Nordeste semiárido; a perda de biodiversidade (extinção de espécies) na Amazônia, bem como, substituição de florestas tropicais por savanas, desertificação e salinização de terras agriculturáveis; e o aumento do nível do mar (com prejuízo às cidades costeiras).

² $\text{CO}_{2\text{eq}}$ é uma medida padrão utilizada para comparar as emissões de todos os gases de efeito estufa em unidades de CO_2 (Dióxido de Carbono), baseado no potencial de aquecimento global de cada GEE (RIO DE JANEIRO, 2012). Em outras palavras, o $\text{CO}_{2\text{eq}}$ é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas de um GEE pelo seu potencial de aquecimento global.

É grande a preocupação com os efeitos negativos provocados pelas mudanças climáticas. Em novembro de 2019, o Parlamento Europeu declarou a “emergência climática” na União Europeia, fazendo da Europa o primeiro continente a decretar a medida. Esta resolução, aprovada em Estrasburgo, é um ato simbólico com o objetivo de aumentar a pressão sobre os agentes públicos por medidas concretas contra as mudanças climáticas (WELLE, 2019).

Há consenso na comunidade científica de que o clima é o principal vetor que impulsiona o fogo. É o que vem sendo observado na Austrália, país em que o fogo “faz parte” do seu ecossistema. Porém, os números extremos são reflexos das condições climáticas enfrentadas, onde o país vem registrando dias de extremo calor, chegando a registrar recordes de temperatura. Esta temporada de queimadas enfrentada pelo país já ocasionou a morte de dezenas de pessoas e estima-se que cerca de um bilhão de animais foram dizimados pelo fogo e pela fumaça desde novembro de 2019 (TAJRA, 2020).

Al-Ghussain (2018) apresenta que as possíveis ações a serem adotadas para o aquecimento global são resumidas em três estratégias, sendo estas: adaptação, mitigação ou, simplesmente, não agir. A adaptação é o desenvolvimento de novas técnicas que reduzam o impacto do aquecimento global; a mitigação é a redução/prevenção das emissões dos GEE's. Ao aderir estas duas primeiras estratégias ter-se-á o custo ótimo, sendo esta considerada a solução eficaz para o aquecimento global.

De acordo com um estudo publicado pela Revista “Página22” (EAESP, 2016), se não houver um controle das emissões globais, até o fim do século a temperatura irá aumentar excessivamente e uma das piores consequências será a imprevisibilidade climática. O único caminho é buscar incentivar a redução das emissões e para garantir o envolvimento mundial com a gestão de carbono é importante a existência de determinados órgãos, como por exemplo, a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, que norteia para que todos atuem dentro de uma mesma estratégia global.

As evidências científicas relacionando as emissões de gases de efeito estufa provenientes de atividades antrópicas à mudança climática global começaram a despertar a preocupação pública (UNFCCC, 1992). Com isso são desenvolvidas legislações e uma série de conferências internacionais que invocam para a urgência de um tratado mundial para enfrentar o problema.

3.4 MEIO AMBIENTE E ECONOMIA: ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS

3.4.1 A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

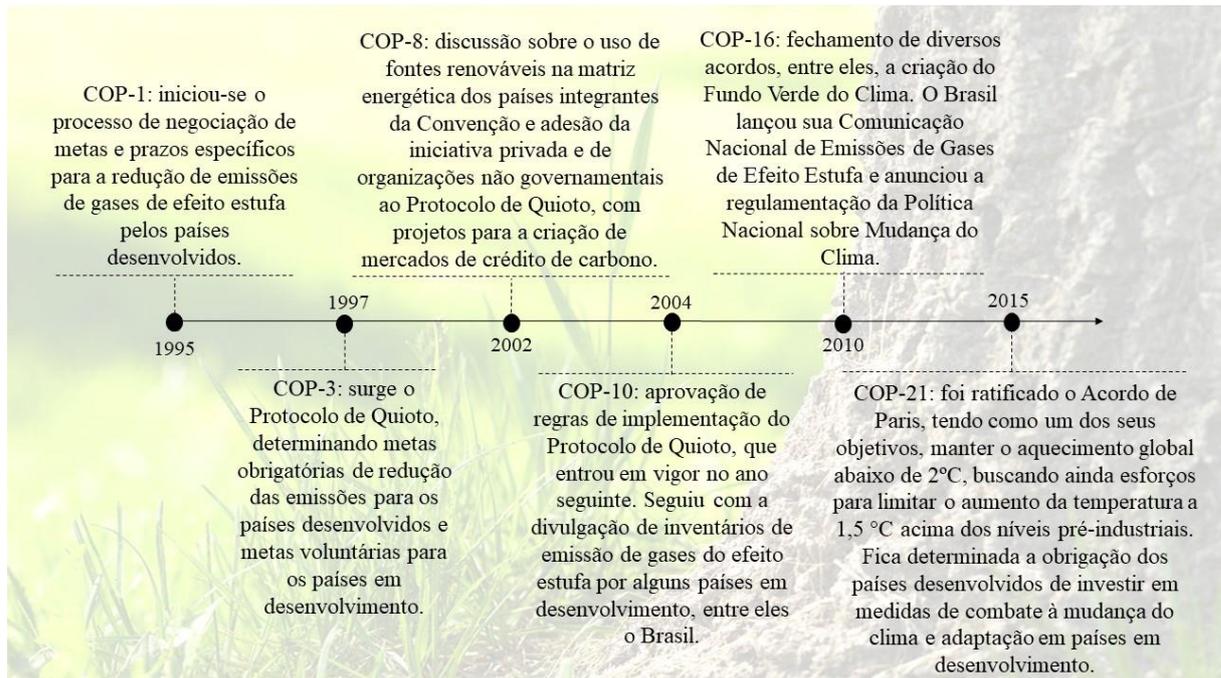
Os esforços das comunidades internacionais para combater o aquecimento global são evidentes. Diversos acordos voluntários entre as nações são desenvolvidos visando alternativas para solucionar o problema do aquecimento global. A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, também conhecida como UNFCCC (do original em inglês *United Nations Framework Convention on Climate Change*), foi elaborada durante a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992, a Rio 92. Neste encontro, 179 países consolidaram uma agenda global para minimizar os problemas ambientais mundiais (MOK; HAN; CHOI, 2014).

O objetivo final desta Convenção e de quaisquer instrumentos jurídicos com ela relacionados que adote a Conferência das Partes é o de alcançar, em conformidade com as disposições pertinentes desta Convenção, a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera num nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático. Esse nível deverá ser alcançado num prazo suficiente que permita aos ecossistemas adaptarem-se naturalmente à mudança do clima, que assegure que a produção de alimentos não seja ameaçada e que permita ao desenvolvimento econômico prosseguir de maneira sustentável (UNFCCC, 1992).

A Convenção-quadro tem como objetivo estabilizar as concentrações de GEE na atmosfera em um nível que não permita uma interferência antrópica perigosa no sistema climático e está fundamentada no princípio das responsabilidades comuns. Todos os países membros devem implementar medidas nacionais que contribuam no combate às causas e efeitos da mudança do clima. Entretanto, apenas as nações que são Partes do Anexo 1 à Convenção (os países desenvolvidos) têm obrigações de reduzir emissões (CMMC, 2013).

Desde o início da vigência da Convenção-Quadro foram realizados 25 encontros, conhecidos como A Conferência das Partes – COP (Apêndice 8.1, p. 80 deste trabalho). Este é um grande evento que reúne anualmente todos os países-membros da Organização das Nações Unidas (ONU) para negociações e formação de consensos climáticos. Na Figura 5, estão apresentadas as reuniões que obtiveram os resultados mais significativos, selecionados pela autora.

Figura 5 – Linha do tempo com as principais reuniões selecionadas.



Fonte: elaborada pela autora com base em Instituto Socioambiental e Observatório do Clima (2018).

Em todas as conferências busca-se pensar em estratégias para lidar com as alterações climáticas no mundo, isto é, combater o aquecimento global. São discutidos temas voltados para as aplicações, funcionalidades e execuções previstas nos acordos pretendidos e/ou firmados sobre mudanças e responsabilidades climáticas. Os encontros posteriores à COP-21, em que foi ratificado o Acordo de Paris, giraram em torno da regulamentação dos detalhes sobre este acordo climático e sua implementação efetiva. Diferente do Protocolo de Quioto, o Acordo de Paris não especifica metas obrigatórias para cada país. Estes são quem devem determinar seus próprios objetivos de redução de emissões.

A Convenção tem uma adesão quase universal. Os países que a ratificaram são chamados de “Partes” da Convenção. Através de acordos assumidos entre as nações e medidas para redução das emissões mundiais de GEE firmadas durante as reuniões (destaque para as COP’s 1, 3, 8, 10, 16 e 21 na Figura 5), objetiva-se, assim, impedir que as ações humanas interfiram de forma prejudicial e permanente no sistema climático do planeta.

Nos encontros realizados pela Conferência das Partes em Paris (2015) e Marrakesh (2016) para as negociações climáticas internacionais, foram apresentados alguns resultados promissores. Porém, destaca-se que os esforços são poucos e o caminho para se evitar mudanças climáticas perigosas ainda está distante (HICKMANN, 2017).

O Brasil tem o compromisso de reduzir suas emissões de gases do efeito estufa (GEE) em 37% até 2025 e em 43% até 2030, ambos em relação aos níveis de 2005, conforme metas presentes na Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil³ (NDC, na sigla em inglês – *Nationally Determined Contributions*). Sabendo que suas emissões totais em 2005 fecharam com 2.968.738.905 tCO_{2eq} (SEEG, 2019), verifica-se que para alcançar estas metas, o total das emissões devem fechar em, no máximo, 1.098.433.395 tCO_{2eq} em 2025 (redução de 37%) e 1.276.557.729 tCO_{2eq} em 2030. As emissões em 2017 fecharam em 2.070.923.739 tCO_{2eq} (SEEG, 2019). Até 2025, para que se alcance a meta de redução de 37%, o Brasil ainda precisará reduzir 972.490.344 tCO_{2eq} das suas emissões.

As INDC's (*Intended Nationally Determined Contributions*) são metas pretendidas de contribuições voluntárias apresentadas pelos países. Quando o acordo é finalmente ratificado, este documento deixa de ser uma intenção e passa a ser denominado Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC). As metas brasileiras deixaram de ser pretendidas e tornaram-se compromissos oficiais após a aprovação pelo Congresso Nacional, em que o Brasil concluiu, em 12 de setembro de 2016, o processo de ratificação do Acordo de Paris (BRASIL, 2019).

Após depositarem suas intenções voluntárias de redução de emissão de carbono na Convenção do Clima, os países precisam estabelecer políticas públicas para ações de mitigação, em todos os níveis (nacional, estadual e municipal) que possibilitem o cumprimento da meta. Ainda não estão definidas as sanções para os países que não alcançarem suas metas, assim, depositar metas ambiciosas na Convenção-Quadro pode ser bem mais fácil do que as cumprirem efetivamente (EAESP, 2016).

De acordo com Cifci e Oliver (2018), acordos climáticos internacionais como o Protocolo de Quioto em 1997 e, mais recentemente, o Acordo Climático de Paris citam a mudança climática como o desafio mais urgente do nosso tempo e sustentam que a cooperação internacional na redução das emissões de GEE tem um papel essencial na abordagem deste desafio. Porém, há um grupo de oponentes políticos desses acordos que argumentam que os requisitos desproporcionais das nações desenvolvidas para arcar com os encargos financeiros inibirão seu crescimento econômico. Segundo os autores, há evidências empíricas de que ambos os argumentos provavelmente estão corretos.

³ Termo usado pela UNFCCC. “Documento do governo brasileiro que registra os principais compromissos e contribuições do Brasil para o acordo climático”. Disponível <<http://www.mma.gov.br/informma/item/10570-indc-contribui%C3%A7%C3%A3o-nacionalmente-determinada>>. Acesso em 27 mar. 2019.

Desta forma, Cifci e Oliver (2018) explicam ainda que cabe aos organismos internacionais, como a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, reconhecer o *trade-off* entre redução de emissões de GEE e expansão da economia e, assim, desenvolver maneiras de mitigar os impactos sobre o crescimento econômico. Caso contrário, a rejeição desses acordos por grupos políticos que valorizam este crescimento de curto prazo em detrimento de benefícios climáticos de longo prazo representará uma ameaça constante à sua viabilidade e sucesso.

3.4.2 A Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC)

No ano de 2009, foi instituída no país a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) pela Lei nº 12.187, onde o país oficializa seu compromisso voluntário junto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima de redução de emissões de GEE.

A PNMC visa, dentre outras medidas, à compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a proteção do sistema climático, à redução das emissões antrópicas de gases de efeito estufa em relação às suas diferentes fontes, bem como o fortalecimento das remoções por sumidouros no território nacional e ao estímulo ao desenvolvimento do Mercado Brasileiro de Redução de Emissões – MBRE. Estabelece também que todos têm o dever de atuar na redução dos impactos decorrentes das interferências antrópicas sobre o sistema climático, pensando no benefício das atuais e futuras gerações (BRASIL, 2009).

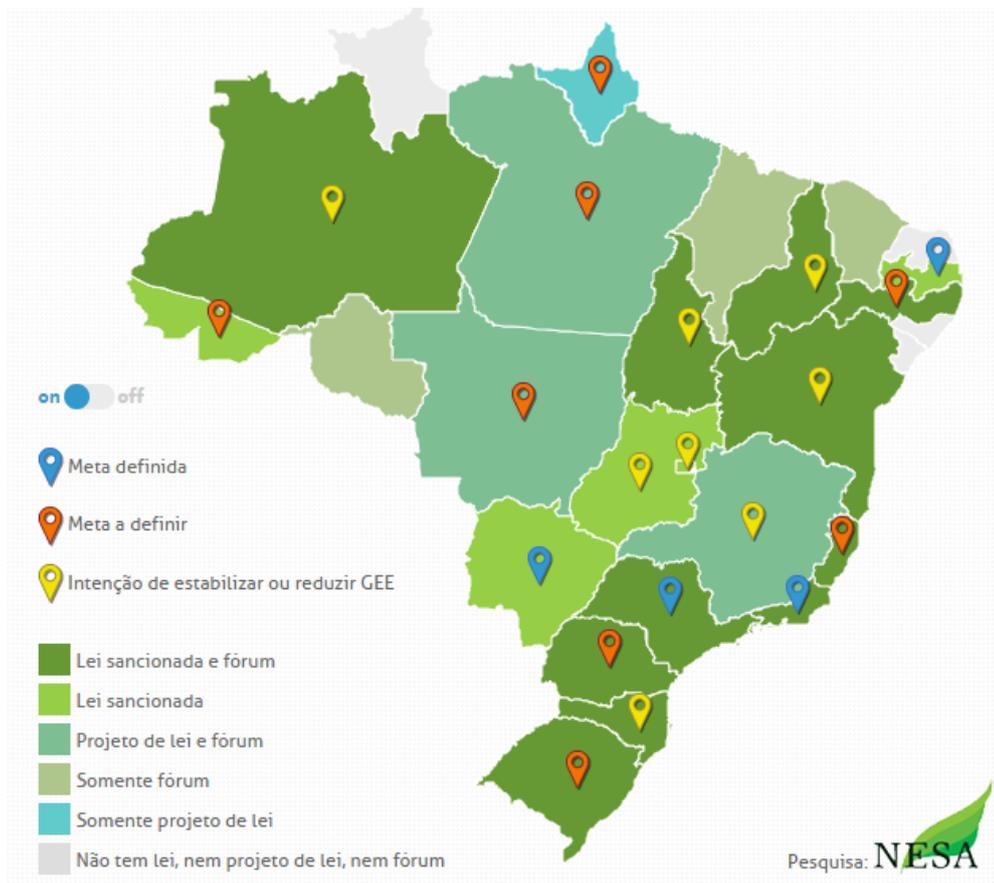
A elaboração dos Planos Setoriais de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima, prevista na PNMC, foi regulamentada pelo Decreto nº 7.390/2010 (revogado pelo Decreto nº 9.578/2018). De acordo com este ordenamento, para auxiliar no alcance das metas de redução, é instituído algumas diretrizes e padrões sustentáveis de produção e consumo (BRASIL, 2010).

O Plano Setorial de Reduções de Emissão da Indústria (Plano Indústria) representa um compromisso da sociedade brasileira com o desenvolvimento sustentável, com o objetivo de preparar a indústria nacional para este novo cenário. Assim, a produtividade-carbono, que equivale à intensidade de emissões de GEE por unidade de produto, será tão importante quanto a produtividade do trabalho e dos demais fatores para a competitividade econômica internacional (BRASIL, 2013).

3.4.3 Sistema Normativo Jurídico Brasileiro voltado para as Mudanças Climáticas

No Brasil há uma extensa matéria legislativa referente às questões ambientais, refletindo a crescente preocupação com a degradação do meio ambiente e as suas consequências. No que se refere às Políticas Públicas de Mudanças Climáticas, observa-se a participação de diversos estados brasileiros, em que uns já possuem metas definidas – como o Estado do Rio de Janeiro que possui o Decreto nº 43.216/2011, que define como meta geral a redução da intensidade de emissões (tCO_{2eq}/PIB) até 2030, em relação a 2005 – e outros, metas a definir ou intenção de estabilizar/reduzir suas emissões de Gases de Efeito Estufa (Figura 6).

Figura 6 – Situação das Políticas Públicas de Mudanças Climáticas no território brasileiro.



Fonte: Fórum Empresarial pelo Clima (2019). Disponível em <<https://forumempresarialpeloclima.ethos.org.br/observatorio-de-politicas-publicas-de-mudancas-climaticas/>>. Acesso em: 16 jan. 2019.

Como observado na Figura 6, todas as regiões brasileiras estão envolvidas, de alguma forma, na elaboração de leis sobre as mudanças climáticas. Apenas quatro estados (Roraima,

Rio Grande do Norte, Alagoas e Sergipe) não se envolveram ainda nesta temática. A Convenção-Quadro e o Protocolo de Quioto vigoram no Brasil com estatura de lei ordinária e suas regras fundamentam as políticas públicas no país.

O direito intergeracional ao meio ambiente equilibrado é um princípio constitucional. De acordo com a Constituição Federal, artigo 225, o meio ambiente ecologicamente equilibrado é um direito garantido a todo cidadão e essencial à uma sadia qualidade de vida, cabendo a todos o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. Porém os cenários de mudanças climáticas estão na direção oposta da sadia qualidade de vida abordada pela Carta Magna, que estão associadas ao crescente acúmulo de gases gerados pela combustão de energias fósseis (CMMC, 2013).

Para tanto, é necessária a participação e engajamento de todos (setor público, privado e sociedade) na defesa pelo direito de um meio ecologicamente equilibrado e sadio, seja através de instrumentos de comando e controle, de instrumentos econômicos, instrumentos de comunicação ou de ações simples que visem a sustentabilidade e o bem-estar comum. A sociedade precisa conhecer a legislação vigente para analisar o papel e o dever do Estado nas medidas de combate e fiscalização. No Apêndice 8.2, p. 86 deste trabalho são apresentadas, de forma sucinta, as legislações observadas no território nacional, no âmbito federal e estadual.

Observa-se que a federação e muitos estados brasileiros possuem normas e Fóruns que definem instrumentos para enfrentamento das consequências negativas das mudanças climáticas. Estados como Amazonas, Bahia, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Paraíba, Paraná, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro, Santa Catarina, São Paulo e Tocantins possuem suas Políticas Estaduais sobre Mudança do Clima em que se estabelecem princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos aplicáveis. No entanto, de modo geral, a implementação das leis precisa se fortalecer. Há a necessidade de coordenação das ações para que se obtenham os melhores resultados (Apêndice 8.2, p. 86).

3.4.4 O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e o Mercado de Carbono

Há três mecanismos baseados no mercado do Protocolo de Quioto, sendo estes o Comércio de Emissões, a Implementação Conjunta e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Os países em desenvolvimento podem participar apenas deste último, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

O Mecanismo de Desenvolvimento limpo (MDL), definido no artigo 12 do Protocolo de Quioto, é o primeiro mecanismo global de investimento e crédito ambiental relacionado às emissões de GEE, fornecendo um instrumento de compensação de emissões padronizado. Além de estimular a redução de emissões, este sistema estimula o desenvolvimento sustentável, ao mesmo tempo em que proporciona aos países industrializados uma certa flexibilidade no cumprimento de suas metas de redução ou limitação de emissões (UNFCCC, 2018).

Segundo a Comissão Mista Permanente sobre Mudanças Climáticas (2013), o MDL é um dos instrumentos criados para fomentar o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes nos países em desenvolvimento. Assim, as nações em desenvolvimento (que não constam no Anexo I do Protocolo de Quioto) podem implementar esses projetos. A redução correspondente de emissões, alcançada com o projeto de MDL, é convertida em Reduções Certificadas de Emissões, também conhecido como Créditos de Carbono, que são compradas pelos países do Anexo I.

Um projeto de MDL precisa passar por algumas etapas para o seu desenvolvimento e realização. Deve obter a aprovação das Autoridades Nacionais Designadas (AND) de cada país para garantir que o projeto esteja de acordo com a agenda nacional de desenvolvimento sustentável. As reduções de emissão resultantes de cada projeto precisam ser validadas e verificadas por uma Entidade Operacional Designada (EOD) e credenciada pela Junta Executiva. O projeto verificado e as reduções de emissão permitirão que o desenvolvedor do projeto obtenha uma certificação assegurada pela EOD. Uma vez que o projeto de MDL tenha sido verificado, a EOD envia um relatório de verificação ao Conselho Executivo do MDL da UNFCCC para solicitar a emissão de RCEs (Reduções Certificadas de Emissões) equivalentes à quantidade verificada. Uma tonelada de dióxido de carbono (CO₂) corresponde a um crédito de carbono (MOK; HAN; CHOI, 2014).

Deste modo, os países desenvolvidos podem comprar esses créditos de carbono gerados em vez de reduzir suas próprias emissões (CMMC, 2013). O mecanismo é supervisionado pelo Conselho Executivo do MDL da UNFCCC. Já foram registrados mais de 1.650 (mil seiscentos e cinquenta) projetos. Estes, podem envolver, por exemplo, um projeto de eletrificação rural usando painéis solares ou a instalação de caldeiras com maior eficiência energética (UNFCCC, 2018).

Precificação de carbono, ou seja, atribuir um custo aos impactos gerados pelo aumento de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, é um passo fundamental para viabilizar a transição para uma nova economia. Desta forma, estimula-se o setor industrial na transição

para processos mais limpos de carbono, de modo que esta variável seja incorporada e as empresas passem a tomar decisões considerando esse custo (CEBDS, 2018).

Além disso, a demanda pela adequação de um novo modo de produção à legislação ambiental, que impõe limites cada vez mais rigorosos, e o presente pensamento ecológico da sociedade faz com que as indústrias passem a utilizar tecnologias limpas e, obrigatoriamente, adotem medidas e equipamentos de controle de poluição (NOVAES; SOUZA, 2018).

3.5 QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Ter um controle efetivo sobre as emissões de GEE proporciona empresas mais seguras e ecoeficientes, além de permitir novos investimentos e tipos de empregos (SILVA, 2012). Considerar o impacto dos GEE's em qualquer desenvolvimento auxilia na gestão corporativa, servindo como um indicador para análise de riscos e oportunidades. Este segue uma cadeia de valor, em que se começa pelo cumprimento da regulamentação e alcançando até a inovação do empreendimento, garantindo que o desenvolvimento seja responsável, operando de uma maneira mais econômica. Após identificar e medir com precisão a quantidade total das emissões, a organização tem uma visão mais clara das áreas que exigem ação direcionada (FINNEGAN et al., 2018).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2015), existem vantagens para as empresas na gestão eficiente das suas emissões de GEE, com foco na melhoria da gestão operacional e na eficiência energética. Em suma, essa gestão estratégica resulta em produzir mais com o mesmo custo, reduzindo o desperdício, o gasto energético, as emissões de GEE e, além disso, estar de acordo com as suas obrigações legais. Financeiramente, ações sustentáveis refletem no valor de mercado da empresa.

Diante destes benefícios se destaca a importância das corporações realizarem a quantificação das suas emissões de forma completa, buscando extinguir os erros e seguindo os princípios que fazem parte do padrão *GHG Protocol Corporate Standard* e da norma ISO (*International Organization for Standardization*) 14064-1: relevância, integralidade, consistência, transparência e exatidão (ABNT, 2015).

Para que fosse possível alcançar um progresso no gerenciamento do problema envolvendo a alta emissão de gases causadores e intensificadores do efeito estufa, ficou evidente a necessidade de medição e quantificação desses lançamentos. Para isso, seria preciso uma metodologia comum, padronizada e que fosse confiável.

3.5.1 O Programa Brasileiro GHG Protocol

O *GHG Protocol* é um método de gestão compatível com as normas da *International Organization for Standardization* (ISO) e com as metodologias de quantificação do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*). Foi desenvolvida pelo *World Resources Institute* (WRI) em associação com o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) em 1998 e é periodicamente atualizada (FGVces e WRI, 2010). Sua aplicação no Brasil acontece de modo adaptado ao contexto nacional.

De forma geral, essa metodologia trata-se de um protocolo que deve incluir em seu relatório de emissões os gases de efeito estufa (GEE) regulados pelo Protocolo de Quioto. Como explicam Finnegan et al. (2018), este protocolo estabeleceu uma estrutura para medir e gerenciar as emissões de GEE, das quais o carbono é o contribuinte mais significativo.

O programa foi lançado no Brasil em 2008, através de uma parceria entre o Centro de Estudos em Sustentabilidade (FGVces) e o WRI, com o apoio do Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), da Embaixada Britânica no Brasil, do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e de 27 empresas fundadoras, sendo nomeado como Programa Brasileiro *GHG Protocol* (EAESP, 2016).

O programa brasileiro desenvolveu métodos e ferramentas voltados para o contexto nacional, sendo o responsável por desenvolver o Registro Público de Emissões. Atualmente, o GHG conta com a adesão de mais de 135 organizações no Brasil, sendo considerado o método mais utilizado mundialmente para a publicação dos inventários corporativos de GEE (EAESP, 2016). Visa promover a gestão voluntária de GEE, através da contabilização desses gases e preparação de inventários no nível organizacional.

O *GHG Protocol* divide as abordagens em três diferentes escopos (Escopo 1, Escopo 2 e Escopo 3). Para elaborar um Inventário de Emissões de GEE o apontamento das emissões de Escopo 1 e Escopo 2 são obrigatórias, diferente do que ocorre com a categoria de Escopo 3, que é relato opcional de emissões indiretas de GEE decorrentes de atividades que ocorram em fontes que não pertencem ou não são controladas pela empresa.

De acordo com a Resolução INEA/PRES nº 64 (RIO DE JANEIRO, 2012):

Emissões de escopo 1 - são as emissões diretas de GEE de um empreendimento provenientes de fontes que pertencem ou são controladas pela organização, como, por exemplo, as emissões de combustão em caldeiras, fornos, veículos da empresa ou por ela controlados, emissões da produção de químicos em equipamentos de

processos que pertencem ou são controlados pela organização, emissões de sistemas de ar condicionado e refrigeração, entre outros. Caso existam emissões de CO₂ resultantes da combustão de biomassa, estas não deverão ser incluídas no Escopo 1, e sim, informadas em separado.

Emissões de escopo 2 - são emissões indiretas de GEE de um empreendimento provenientes da aquisição de energia elétrica e térmica consumidas pela empresa e geradas em outro local.

Emissões de escopo 3 - são outras emissões indiretas de GEE cujo relato é opcional, sendo fortemente recomendável que sejam informadas as decorrentes de atividades relacionadas a transporte de materiais ou bens adquiridos; de combustíveis adquiridos; de viagens de negócios de empregados; viagens de empregados de ida e volta ao trabalho; de produtos vendidos e de resíduos.

3.5.2 A Ferramenta de Cálculo do Programa Brasileiro *GHG Protocol*

Para auxiliar na realização do inventário, o programa disponibiliza uma planilha (um arquivo no Excel) para o cálculo das emissões de GEE, com sugestões de metodologias e fatores de emissão. Ela é dividida por escopos e dentro de cada um deles encontram-se as devidas categorias a serem identificadas e quantificadas. Os cálculos são feitos com um recorte anual, muito utilizado pelas organizações para elaborarem seus Inventários Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Esta ferramenta fica disponível no website do programa (<https://www.ghgprotocolbrasil.com.br/ferramenta-de-calculo>).

Os lançamentos de CO₂ provenientes da combustão de biomassa devem ser desconsiderados dos Escopos e serem reportados separadamente. Isto porque algumas atividades antrópicas emitem CO₂ por conta da transformação de estoques biológicos de carbono (como por exemplo, animais, vegetais e algas). O carbono presente nesses estoques foi removido da atmosfera através do processo natural da fotossíntese. Deste modo, estas emissões não possuem impacto adicional na concentração deste GEE na atmosfera e precisa ser contabilizado de maneira separada das outras emissões (PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL, 2016).

De forma distinta, os gases que não são removidos da atmosfera durante o crescimento da biomassa não podem ser excluídos. Considerando como exemplo as emissões de GEE pela combustão de biomassa: quando é realizado o processo de queima da biomassa tem-se como produto da reação o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). Estes dois últimos deverão ser contabilizados junto às emissões não-renováveis, isto é, estas emissões devem ser relatadas como Escopo 1, pois somente o CO₂ gerado na queima poderá retornar ao ciclo renovável com o processo da fotossíntese.

Seguindo este raciocínio, as emissões totais de cada categoria são apresentadas em dois diferentes resultados na planilha: Emissões totais em CO_{2eq} (toneladas métricas) e, quando há a utilização de biomassa ou biocombustível, Emissões totais em CO₂ biogênico (toneladas métricas). A metodologia de cálculo será melhor abordada a seguir.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho foi realizado em uma indústria siderúrgica situada no Estado do Rio de Janeiro. Apenas dados relativos ao quantitativo de funcionários, consumo de matérias-primas e de combustíveis aplicáveis ao processo produtivo, consumo de energia elétrica, movimentação de veículos e destinação final de resíduos são autorizadas para a divulgação neste trabalho. Todos os dados utilizados nesta pesquisa foram obtidos através de visitas técnicas e informações coletadas no local, repassadas pelos colaboradores do setor de Saúde, Segurança e Meio Ambiente (SSMA) e, referem-se ao ano de 2017.

Consistiu-se em uma pesquisa qualitativa e quantitativa, sequenciada por um estudo de caso descritivo e exploratório, baseada nas especificações do Programa Brasileiro *GHG Protocol*. Foi realizada a quantificação das emissões de gases de efeito estufa de uma indústria siderúrgica através da abordagem *Bottom Up* (abordagem setorial), que permite conhecer as emissões através de consumos e fatores de emissões específicos, bem como uma análise dessas emissões.

A abordagem *Bottom Up* utiliza informações diretamente relacionadas à fonte. É empregada para fontes pontuais, necessitando de mais recursos para a coleta de informações do local específico. São dados que a organização possui o controle operacional e, são por ela, aferidos (UGAYA et al., 2013).

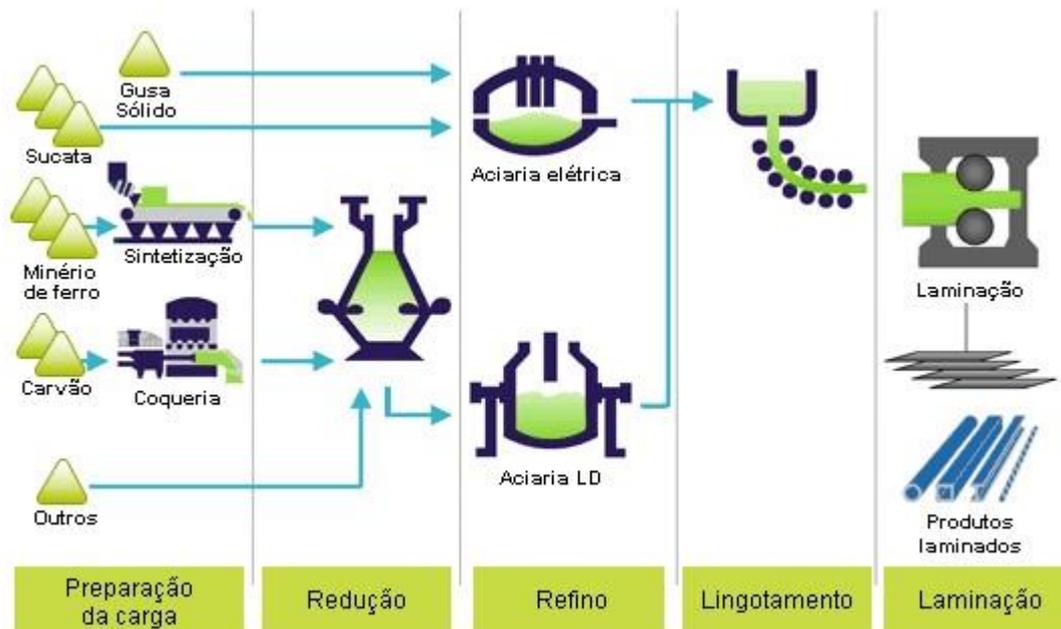
Para esta pesquisa foi realizado um estudo de caso considerando um único elemento, uma indústria siderúrgica. Segundo Yin (2015), o estudo de caso único é recomendado quando é difícil o acesso a múltiplos casos e pode ser usado para determinar se as proposições são corretas ou se um grupo de explicações pode ser mais relevante, podendo representar uma contribuição significativa para a construção do conhecimento e da teoria e até mesmo ajudar a direcionar as futuras investigações em todo um campo.

Assim, em um primeiro momento, foi feito um exercício de identificação de todas as potenciais fontes de emissão de GEE para a atmosfera presentes no estabelecimento industrial. Para isso, foi necessário verificar as atividades e rotinas operacionais.

4.2 A INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

A usina em estudo é integrada com o ciclo de transformação iniciando no minério de ferro. O ferro gusa é fabricado em um alto forno, tendo como principal redutor o carvão vegetal. Para melhor entendimento do processo tem-se a Figura 7, que ilustra, de uma forma geral, o processo elementar de uma indústria siderúrgica.

Figura 7 – Fluxo simplificado de produção da siderurgia.



Fonte: Instituto Aço Brasil (2019). Disponível em <<http://www.acobrasil.org.br/site2015/processo.html>>. Acesso em 11 set. 2019.

Como observado na Figura 7, o processo de fabricação do aço começa com a preparação da carga. Basicamente, o aço é uma liga de ferro e carbono – carvão mineral e/ou carvão vegetal, matéria-prima utilizada no processo como combustível, como redutor do minério de ferro e como fornecedor de carbono para a liga (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2019; GAUTO; ROSA, 2011).

Ainda na etapa de Preparação da carga, é necessário produzir a preparação do minério de ferro realizando a aglomeração do mineral (os processos normalmente empregados são a sinterização e pelletização). Este processo visa melhorar a permeabilidade da carga no alto-forno, reduzir o consumo de carvão e acelerar o processo de redução. Já a etapa prévia do carvão é denominada coqueificação, que tem como produto resultante o coque, produto poroso, composto basicamente por carbono, com elevada resistência mecânica e alto ponto de fusão (GAUTO; ROSA, 2011).

Os metais são frequentemente encontrados em seus minérios com número de oxidação positivo e, para que se obtenha o metal a partir do minério, é necessário que ele sofra uma redução. A etapa de Redução ocorre no alto forno e tem como produto o ferro gusa. O carvão associa-se ao oxigênio que, em alta temperatura, se desprende do minério deixando o ferro livre para ligar-se ao carbono. Na etapa de Refino, realizada em fornos a oxigênio ou elétricos (gusa líquida pede fornos com injeção de ar e sucata fornos elétricos), o ferro-gusa é transformado em aço – o ferro-gusa e as sucatas constituem as matérias-primas utilizadas para a produção do aço (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2019; GAUTO; ROSA, 2011).

Quando necessário, o aço passa por um refino secundário para que se ajuste sua composição e temperatura. Em seguida, é transportado ao Lingotamento, onde é vazado em um distribuidor que segue em diversos veios. Em cada veio, passa por moldes de resfriamento para que se solidifique. Após sua solidificação, são cortados em pedaços apropriados para a laminação (GAUTO; ROSA, 2011). Nesta última fase do processo de fabricação, o aço é deformado mecanicamente e transformado em produtos siderúrgicos (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2019).

4.3 IDENTIFICAÇÃO DAS FONTES E QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE

Com o estudo e conhecimento das etapas básicas do processo produtivo de uma siderurgia, deu-se continuidade na identificação das fontes de emissão realizadas através de visitas técnicas. As fontes identificadas basearam-se na quantidade de combustível utilizado por frota própria, através de processos industriais internos, pelo total de energia consumida e em função de efluentes gerados. Esse levantamento foi feito através de visitas técnicas e dados de consumo disponibilizados pela empresa em estudo. Em seguida, estas fontes foram classificadas em diretas (Escopo 1) ou indiretas (Escopo 2). Por insuficiência de dados para o relato das emissões do Escopo 3, neste trabalho optou-se por trabalhar apenas com os relatos obrigatórios.

A segunda etapa deste trabalho se deu na quantificação das emissões, realizada através da metodologia do Programa Brasileiro *GHG Protocol* (ferramenta versão 2018.1.4). A metodologia desta pesquisa seguiu as diretrizes e informações contidas no método deste Programa.

Foram definidos três limites: a abrangência temporal (período de referência), os limites organizacionais e os limites operacionais. O período de referência é o recorte temporal da quantificação de emissões. O limite organizacional delimita fisicamente onde será

realizado o trabalho. O Programa Brasileiro *GHG Protocol*, considera duas abordagens de consolidação das emissões: controle operacional (quando a empresa tem autoridade para definir e implementar políticas de funcionamento, incluindo 100% das suas emissões no inventário) e participação societária (inclusão das emissões de acordo com a participação societária, refletindo sua porcentagem de participação na operação).

O limite operacional refere-se à todas as atividades dentro dos limites organizacionais que emitem gases de efeito estufa, sendo necessário identificar as fontes de emissão, bem como, distinguir as emissões diretas das emissões indiretas e associá-las aos escopos correspondentes.

A ferramenta do *GHG Protocol* apresenta fórmulas de cálculo baseadas em fatores de emissão específicos para os componentes analisados. A abordagem utilizada para calcular emissões de gases de efeito estufa é por meio da aplicação de fatores de emissão documentados. O fator de emissão, de forma geral, é um indicador matemático da quantidade de GEE emitidos para a atmosfera em relação a uma determinada fonte de emissão.

Cada planilha da ferramenta foi programada utilizando a fórmula e o fator de emissão para a quantificação da emissão, apresentando, no final, a emissão por escopo e sua condensação. A ferramenta trabalha com modelo de transformação da fonte em dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_{2\text{eq}}$), considerando a capacidade de retenção de calor (GWP) de cada gás de efeito estufa.

Para se determinar quanto de um gás de efeito estufa foi emitido pela atividade, foram estabelecidos os fatores de emissão, que correspondem a um valor representativo relacionando a quantidade de emissões ou remoções de GEE com uma atividade associada à liberação dessas emissões ou remoções. Um exemplo prático seria o quanto é emitido de CO_2 quando um litro de combustível é consumido (ABNT, 2015).

Entre os agentes que publicam esses fatores utilizados como referência pela ferramenta de cálculo do *GHG Protocol* Brasil estão o IPCC (base científica que apresenta valores padrões), BEN (Balanço Energético Nacional), MCTIC (Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações), MMA (Ministério do Meio Ambiente) e DEFRA (*Department for Environment Food & Rural Affairs*).

Foi adotado o método de estimativa de emissões, que consiste em dados de emissões multiplicados por fatores de emissão apropriados. Desta forma, para calcular as emissões ou remoções dos diferentes gases estufas, foi utilizada a equação abaixo (Equação 1):

$$E_{GEE} = C \times FE \quad (1)$$

Onde:

E_{GEE} = Emissões ou remoções do GEE;

C = Combinação das informações sobre as atividades (dado de atividade);

FE = Fator de Emissão.

Posteriormente, foi realizada a conversão das emissões ou remoções para identificar a quantidade de dióxido de carbono equivalente em toneladas (tCO_{2eq}). Este cálculo foi feito considerando o Potencial de Aquecimento Global de cada GEE (Equação 2):

$$E = E_{GEE} \times GWP \quad (2)$$

Onde:

E = Emissões ou remoções do GEE em dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq});

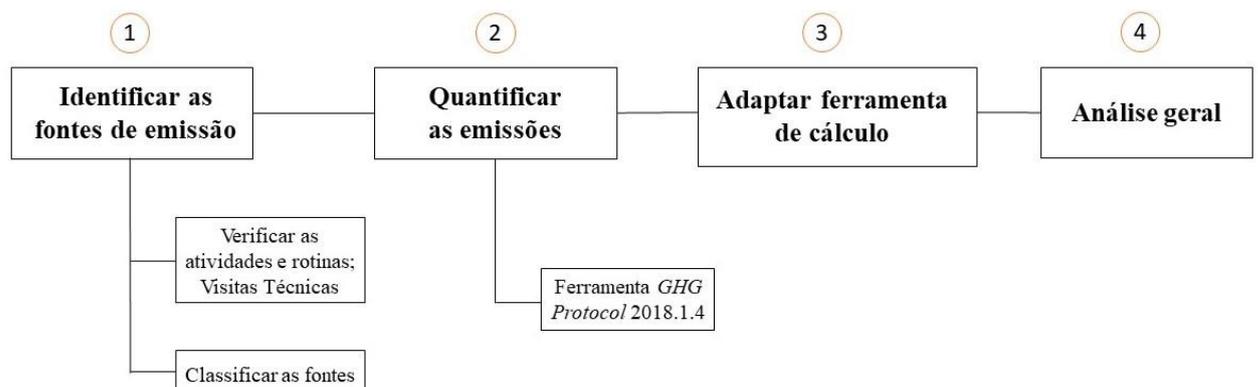
E_{GEE} = Emissões ou remoções do GEE;

GWP = Potencial de Aquecimento Global do GEE.

Os valores do Potencial de Aquecimento Global (GWP) utilizados como referência e os fatores de emissão utilizados no inventário foram aqueles propostos e pré-definidos na ferramenta de estimativa de GEE do *GHG Protocol*.

Após a quantificação das emissões obtidas com o método escolhido, foi realizada uma análise dos dados. Em seguida, foi desenvolvida uma ferramenta de cálculo no Excel com reporte mensal (uma adaptação da ferramenta *GHG Protocol*, versão 2018.1.4). Abaixo, a Figura 8 mostra esquematicamente as fases adotadas no desenvolvimento desta pesquisa.

Figura 8 – Esquema ilustrativo contendo as etapas que consistiram este trabalho.



Fonte: autora (2018).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 IDENTIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE GEE ATRAVÉS DA FERRAMENTA *GHG PROTOCOL*

Foi realizado um levantamento das fontes de emissão de Gases de Efeito Estufa da empresa em estudo, correspondendo aos seus limites operacionais. Os dados trabalhados foram referentes ao ano de 2017 (limite temporal deste trabalho) e se consistiu pela abordagem de controle operacional da empresa. Foram identificadas 17 fontes dentro das seguintes categorias: Combustão estacionária, Combustão móvel, Emissões fugitivas, Processos industriais, Efluentes e Energia (Tabela 3).

Tabela 3 – Fontes de Emissões de GEE levantadas para a Empresa.

Categoria de emissão	Descrição da fonte	Item Supervisionado
Combustão Estacionária (Escopo 1)	Alto Forno	Carvão Vegetal
	Aquecedor de Minério	Gás Natural Seco Injetado
	Estufas	Gás Natural Seco Injetado e Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)
	Fornos	Gás Natural Seco Injetado e Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)
	Máquinas Centrífugas	Gás Natural Seco Injetado
	Misturador	Gás Natural Seco Injetado
	Refeitório	Gás Natural Seco Injetado
	Atividades de Manutenção Laboratório de Qualidade	Acetileno Acetileno
Combustão Móvel (Escopo 1)	Ambulância	Óleo Diesel a Granel Novo
	Carro de Emergência	Gasolina
	Empilhadeiras	Óleo Diesel a Granel Novo
	Locomotiva	Óleo Diesel a Granel Novo
Emissões Fugitivas (Escopo 1)	Extintores de Incêndio	Recarga de Extintores de Incêndio
Processos Industriais (Escopo 1)	Processo de Metal Líquido	Minério de Ferro
		Pelota de Minério
		Sucata de Ferro Recuperada
		Dolomita
		Calcário
		Seixo Rolado Ferro Gusa Ferro-silício
Efluentes (Escopo 1)	ETE Filtro Anaeróbio	Tratamento de Efluentes
Energia (Escopo 2)	Compra de Energia Elétrica	Consumo de Energia Elétrica

Fonte: elaborada pela autora com base nos dados disponibilizados pela empresa em estudo (2017).

Com relação aos dados necessários à quantificação das emissões, este trabalho baseou-se em dados reais documentados. Ao adquirir a posse destes, foi feita a organização e análise deste material. Como já mencionado, todo o material e informações foram obtidos com a ajuda de colaboradores do setor de SSMA através de requisições feitas junto ao Almoxarifado, à Controladoria, por meio de pesagens e comprovantes.

Para todos os itens, foram coletadas as informações necessárias à entrada de dados conforme requisitados pela planilha de cálculo do Programa Brasileiro *GHG Protocol*. A partir da determinação das fontes de emissão de gases de efeito estufa foi feita a quantificação. As categorias e as abordagens de cálculos são resumidas nos itens a seguir.

5.1.1 Combustão Estacionária

A categoria Combustão estacionária envolve a queima de combustíveis por meio de equipamentos estacionários, podendo ser próprios da corporação ou locados para operarem sob sua gestão (ABNT, 2015). Os dados referentes às emissões do Escopo 1, desta categoria, estão apresentados na Tabela 4. Ressalta-se que o gerador de energia não teve abastecimento no ano de 2017.

Tabela 4 – Consumo relacionado às emissões de Escopo 1 da categoria Combustão estacionária.

Escopo 1 - Combustão Estacionária							
Carvão Vegetal (ton) ¹		Gás Natural Seco Injetado (m ³) ²		Gás Liquefeito de Petróleo (kg) ³		Gás Acetileno (kg) ⁴	
Mês	Quant. Utilizada	Mês	Quant. Utilizada	Mês	Quant. Utilizada	Mês	Quant. Utilizada
Jan	1.727,47	Jan	261891,00	Jan	45,00	Jan	153,00
Fev	4.629,87	Fev	641159,00	Fev	45,00	Fev	81,00
Mar	4.457,15	Mar	689821,00	Mar	0,00	Mar	55,00
Abr	4.275,07	Abr	714672,00	Abr	0,00	Abr	108,00
Mai	4.042,40	Mai	739049,00	Mai	45,00	Mai	81,00
Jun	4.996,21	Jun	756968,00	Jun	45,00	Jun	54,00
Jul	4.234,05	Jul	734790,00	Jul	0,00	Jul	72,00
Ago	3.794,02	Ago	642028,00	Ago	45,00	Ago	126,00
Set	4.156,06	Set	634974,00	Set	45,00	Set	36,00
Out	4.123,30	Out	660259,00	Out	45,00	Out	63,00
Nov	4.230,37	Nov	708385,00	Nov	45,00	Nov	18,00
Dez	3.574,41	Dez	706320,00	Dez	0,00	Dez	72,00
Total	48.240,38	Total	7.890.316,00	Total	360,00	Total	919,00

¹Dados obtidos através do peso (balança)

²Dados obtidos através da Concessionária CEG

³Dados obtidos através de requisições (Almoxarifado)

⁴Dados obtidos através de requisições (Controladoria).

Fonte: elaborada pela autora com base nos dados disponibilizados pela empresa em estudo (2017).

O consumo de carvão vegetal refere-se às atividades do alto forno; as fontes do gás natural são as atividades do aquecedor de minério, das estufas, fornos, máquinas centrífugas, misturador e do refeitório; o gás liquefeito de petróleo é utilizado nas estufas e nos fornos e o acetileno nas atividades de manutenção, solda, corte e no laboratório de qualidade.

Em seguida, os dados de atividades foram lançados na ferramenta e estas emissões foram calculadas através de fórmulas matemáticas apresentadas pela ferramenta *GHG Protocol* (versão 2018.1.4).

As emissões totais em CO₂ equivalente, em toneladas métricas, fecharam em 24.407,875 tCO_{2eq}. Como já informado, as emissões em CO₂ biogênico são relatadas em separado, pois estas emissões não possuem impacto adicional na concentração deste GEE na atmosfera. O total das emissões em CO₂ biogênico foi de 139.216,231 toneladas métricas. É sempre importante observar este valor, pois caso a empresa deixe de utilizar a biomassa, suas emissões aumentariam significativamente.

5.1.2 Combustão Móvel

A categoria Combustão móvel está relacionada à queima de combustíveis por equipamentos móveis (ABNT, 2015). Com relação à sua frota de veículos, a empresa em estudo possui um carro movido à gasolina que é utilizado para eventuais emergências que surgirem no decorrer do expediente; uma ambulância, empilhadeiras e uma locomotiva movidas à Óleo Diesel. Os valores e informações correspondentes estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Consumo relacionado às emissões de Escopo 1 da categoria Combustão móvel.

Escopo 1 - Combustão Móvel			
Óleo Diesel (L)¹		Gasolina (L)²	
Mês	Quant. Utilizada	Mês	Quant. Utilizada
Jan	7090,00	Jan	81,84
Fev	15074,00	Fev	69,78
Mar	18660,00	Mar	51,22
Abr	15038,00	Abr	103,67
Mai	14101,00	Mai	104,99
Jun	13370,00	Jun	85,38
Jul	16061,00	Jul	98,54
Ago	12004,00	Ago	94,57
Set	13625,00	Set	100,70
Out	9027,00	Out	84,32
Nov	19728,00	Nov	103,20
Dez	14882,00	Dez	67,34
Total	168.660,00	Total	1.045,55

¹Dados obtidos através de requisições (Almoxarifado)

²Dados obtidos através de abastecimentos realizados (NFe).

Fonte: elaborada pela autora com base nos dados disponibilizados pela empresa em estudo (2017).

A ferramenta disponibiliza tabelas referentes ao tipo de transporte (rodoviário, ferroviário, hidroviário e aéreo) para que se realizem cálculos. Para o transporte rodoviário, é disponibilizado três opções de cálculo (de acordo com a ordem de precisão): abordagem utilizando cálculo por tipo e ano de fabricação da frota de veículos, cálculo por tipo de combustível ou cálculo por distância. O cálculo das emissões em CO_{2eq} de transporte rodoviário foi com base nas duas primeiras abordagens citadas.

Após inserir os dados de atividade em cada tabela correspondente obtiveram-se os resultados. As emissões totais em CO₂ equivalente (toneladas métricas) foram 413,371 tCO_{2eq}

e, em CO₂ biogênico (quantitativo equivalente ao percentual de biocombustível incorporado nesses combustíveis fósseis antes da venda ao consumidor final), as emissões totais foram 32,693 toneladas métricas.

5.1.3 Emissões Fugitivas

As emissões resultantes de lançamento intencional ou acidental de GEE (gerados por vazamentos do gás do ar-condicionado e extintores, por exemplo) são contabilizados em Emissões fugitivas (ABNT, 2015). Em outras palavras, são liberações de GEE que não passam por uma abertura equivalente à chaminés, drenos e/ou tubos de escapes referentes à vazamento de gases refrigerante HFCs em ar condicionado e refrigeração, de metano em gasoduto de Gás Natural, e SF₆ em disjuntores elétricos e transformadores.

A planilha de cálculo do Programa Brasileiro *GHG Protocol* oferece a utilização de três abordagens para a contabilização de emissões deste tipo:

- Opção 1 – Abordagem por estágio do ciclo de vida: utilizada por usuários que contratam os serviços de manutenção dos sistemas de refrigeração e ar condicionado ou de extintores de incêndio. Requer dados de quantidade de GEE utilizado para carregar novos equipamentos durante a instalação, para a manutenção do equipamento e a quantidade de GEE recuperada durante o descarte final, além da carga total dos equipamentos novos e descartados;
- Opção 2 – Abordagem por Balanço de Massa (Compra): deve ser utilizada por usuários que mantêm seu próprio equipamento. Esta abordagem se baseia na quantidade de gás comprada e utilizada;
- Opção 3 – Triagem: esta abordagem refere-se à uma estimativa baseada em fatores de emissão e taxas de vazamento padrão dos equipamentos. Os fatores têm alto grau de incerteza e são extremamente conservadores. Na ausência de dados para utilizar as duas primeiras opções, esta abordagem pode ser aceita. Caso contrário, deve-se utilizar as opções 1 e 2.

Para esta quantificação, foram levantados os dados de compra de recarga de gás refrigerante utilizado nos sistemas de refrigeração e ar condicionado e de recarga de extintores de Incêndio de CO₂. Foi verificado que apenas para esta última, houve dados de compra no ano de 2017 (Tabela 6).

Tabela 6 – Consumo relacionado às emissões de Escopo 1 da categoria Emissões fugitivas.

Escopo 1 - Emissões Fugitivas (Extintores de Incêndio - kg)¹													
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Quant. Utilizada	0	48	268	112	0	0	0	0	370	503	80	0	1.381,00

¹Dados obtidos através de requisições (Patrimonial).

Fonte: elaborada pela autora com base nos dados disponibilizados pela empresa em estudo (2017).

O cálculo desta categoria foi realizado através da Opção 1 (Abordagem por estágio do ciclo de vida) e o quantitativo foi de 1,381 tCO_{2eq} (emissões totais em CO₂ equivalente, em toneladas métricas).

5.1.4 Processos Industriais

Nesta categoria estão incluídas todas as fontes de emissão de processos industriais que transformam materiais, seja química ou fisicamente, podendo existir, também, fontes de GEE pelo uso de produtos (ABNT, 2015). Contém as emissões antrópicas provenientes dos processos produtivos da indústria.

Na aba para o cálculo das emissões da categoria Processos industriais da ferramenta do Programa Brasileiro *GHG Protocol* é necessário que o responsável pela quantificação insira o valor já calculado referente à sua emissão (Equação 1), pois a mesma entende que esta é uma categoria mais complexa de ser calculada e mais particular (vai depender da operação de cada organização). Há na ferramenta um espaço de reporte para serem introduzidos esses valores.

Os dados de atividade (consumo) das emissões referentes a Processos industriais estão identificados na Tabela 7.

Tabela 7 – Consumo relacionado às emissões de Escopo 1 da categoria Processos industriais.

Escopo 1 - Processos Industriais															
Minério de Ferro Vórtice (Ton) ¹		Minério de Ferro Pelota (Ton) ¹		Sucata de Ferro (Ton) ¹		Dolomita (Ton) ¹		Calcário (Ton) ¹		Seixo Rolado (Ton) ¹		Ferro Gusa (Ton) ²		Liga de Ferro-Silício (Ton) ³	
Mês	Quant. Utilizada	Mês	Quant. Utilizada	Mês	Quant. Utilizada	Mês	Quant. Utilizada	Mês	Quant. Utilizada	Mês	Quant. Utilizada	Mês	Quant. Utilizada	Mês	Quant. Utilizada
Jan	2.074,75	Jan	1.026,20	Jan	255,15	Jan	133,86	Jan	133,86	Jan	135,69	Jan	2.507,19	Jan	9,20
Fev	6.736,49	Fev	3.539,72	Fev	873,06	Fev	437,02	Fev	437,02	Fev	447,78	Fev	7.943,90	Fev	46,30
Mar	6.640,11	Mar	3.228,79	Mar	858,63	Mar	478,74	Mar	497,37	Mar	425,27	Mar	9.662,34	Mar	50,15
Abr	6.345,25	Abr	2.850,15	Abr	823,69	Abr	491,32	Abr	555,05	Abr	466,13	Abr	7.457,39	Abr	27,36
Mai	6.357,78	Mai	2.752,32	Mai	786,82	Mai	526,54	Mai	543,80	Mai	421,70	Mai	6.729,58	Mai	49,89
Jun	6.356,96	Jun	2.408,99	Jun	791,83	Jun	519,77	Jun	519,77	Jun	407,55	Jun	6.792,27	Jun	34,13
Jul	6.865,59	Jul	2.778,80	Jul	817,09	Jul	539,30	Jul	539,31	Jul	461,79	Jul	7.138,43	Jul	46,13
Ago	5.865,51	Ago	2.515,17	Ago	801,54	Ago	461,22	Ago	461,22	Ago	457,93	Ago	6.413,09	Ago	30,33
Set	7.085,27	Set	2.649,03	Set	1.044,58	Set	554,85	Set	554,85	Set	554,43	Set	7.223,34	Set	33,06
Out	7.272,12	Out	3.123,68	Out	1.697,21	Out	608,45	Out	608,45	Out	615,60	Out	7.264,10	Out	33,71
Nov	7.061,82	Nov	3.330,91	Nov	1.404,84	Nov	570,76	Nov	570,76	Nov	732,76	Nov	7.883,55	Nov	49,32
Dez	4.258,30	Dez	3.733,91	Dez	1.197,38	Dez	436,67	Dez	238,67	Dez	456,70	Dez	6.515,39	Dez	62,37
Total	72.919,95	Total	33.937,67	Total	11.351,82	Total	5.758,50	Total	5.660,13	Total	5.583,33	Total	83.530,57	Total	471,95

¹Dados obtidos através do peso (balança)

²Dados obtidos através do cálculo de balanço de massa

³Dados obtidos através de requisições (Almoxarifado)

Fonte: elaborada pela autora com base nos dados disponibilizados pela empresa em estudo (2017).

Conforme a Equação 1, os dados de cada atividade são multiplicados por seus respectivos fatores de emissão para que se tenha o valor correspondente às Emissões ou remoções do GEE (E_{GEE}). Desta forma, quando não encontrados na literatura os fatores de emissão equivalentes, é possível que estes sejam calculados através de balanço de massa, uma vez que a quantidade de carbono presente em 1 tonelada de precursor (item supervisionado) é conhecida. O cálculo foi realizado a partir do teor de carbono, em seguida, feito o balanço de massa. O fator de emissão, portanto, é o teor de carbono em toneladas multiplicado pelo respectivo peso molecular: 44 toneladas de CO_2 corresponde a 12 toneladas de C (carbono) ou 1 tonelada CO_2 , isto é, 3,6667 toneladas de C.

A Equação 3 representa o cálculo a ser realizado para que se obtenha o fator de emissão equivalente:

$$FE = TC \times 44/12 \quad (3)$$

Onde:

FE = Fator de Emissão

TC = Teor de Carbono em toneladas

44/12 = é a relação da massa molecular do CO_2 para a massa atômica do carbono

A Tabela 8, em sua segunda coluna, está identificado o teor de carbono presente nos elementos identificados (coluna 1). Estes valores foram fornecidos através de análises laboratoriais da quantidade de carbono de cada item supervisionado, realizados pela própria empresa. Em seguida, respectivamente, encontram-se o valor correspondente à relação da massa molecular do CO_2 para a massa atômica do carbono (44/12), o item supervisionado (precursor) e o fator de emissão calculado.

Tabela 8 – Valores referentes ao teor de carbono de determinados materiais e seus fatores de emissão calculados.

Identificação da Amostra	C (%)	Ton	Conversão	Precursor	FE
Minério de Ferro - Vargem Grande	0,09	0,0009	3,6667	Liga de Ferro-silício	0,0018
Minério de Ferro - Vórtice	0,04	0,0004	3,6667	Calcário	0,4107
Pelota de Minério	0,04	0,0004	3,6667	Dolomita	0,4693
Areia Lavada	0,10	0,0010	3,6667	Ferro Gusa	0,1569
Areia Protu	0,10	0,0010	3,6667	Sucata de Processo	0,1283
Cimento de Alto Forno	0,50	0,0050	3,6667	Minério de Ferro / Pelota	0,0015
Dolomita	12,80	0,1280	3,6667	Minério de Ferro / Vórtice	0,0015
Calcário	11,20	0,1120	3,6667	Seixo	0,0022
Seixo	0,06	0,0006	3,6667		
Gusa	4,28	0,0428	3,6667		
Ferro Silício	0,05	0,0005	3,6667		
Sucata	3,50	0,0350	3,6667		

Fonte: elaborada pela autora com base nos dados disponibilizados pela empresa em estudo (2017).

Com esses dados dispostos, é possível calcular as emissões (conforme Equação 1). Os valores referentes estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Valores referentes às emissões de gases de efeito estufa em toneladas de CO₂.

Precursor	FE (t CO₂)	Dado de Atividade	Emissões (t CO₂)
Liga de Ferro-silício	0,0018	471,95	0,87
Calcário	0,4107	5660,13	2324,43
Dolomita	0,4693	5758,50	2702,66
Ferro Gusa	0,1569	83530,57	13108,73
Sucata de Processo	0,1283	11351,82	1456,82
Minério de Ferro / Pelota	0,0015	33937,67	49,78
Minério de Ferro / Vórtice	0,0015	72919,95	106,95
Seixo	0,0022	5583,33	12,28

Fonte: elaborada pela autora com base nos dados disponibilizados pela empresa em estudo (2017).

Esses valores obtidos, emissões em toneladas de dióxido de carbono, foram introduzidos na ferramenta *GHG Protocol* Brasil para seguir com o cálculo das emissões em dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq}).

As emissões totais em CO₂ equivalente, em toneladas métricas, da categoria Processos industriais fechou em 19.762,515 tCO_{2eq}.

5.1.5 Efluentes

Para o cálculo desta categoria, deve-se registrar o tipo de tratamento realizado e a quantidade de resíduos ou efluentes produzidos com base no número de pessoas ativas na fábrica. Há duas formas distintas para contabilizar estas emissões, podendo serem contabilizadas como Emissões diretas de Escopo 1 – se a empresa realizar qualquer tratamento dos efluentes ou dos resíduos sólidos gerados dentro do limite organizacional estabelecido; ou como Emissões Indiretas de Escopo 3 – quando a empresa recolher todos os resíduos e efluentes e der uma destinação diferente, em que outra empresa seja a responsável por realizar o tratamento desse resíduo ou efluente (ABNT, 2015).

A empresa em estudo possui uma ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) por filtro anaeróbio, porém o descarte nesta Estação não é referente à toda fábrica, mas sim, de apenas um setor composto por 69 funcionários (parte da empresa que abrange fundição/válvulas e pátio de peças). O cálculo realizado para que fosse possível esta quantificação seguiu conforme a DZ-215.

Para esta quantificação, a ferramenta *GHG Protocol* segue cinco passos, sendo:

Passo 1 – Tratamentos sequenciais aplicados aos efluentes (nesta parte, é preciso identificar se são aplicados, sequencialmente, dois tipos de tratamentos anaeróbicos ao efluente gerado; no caso da empresa em estudo não são aplicados);

Passo 2 – Dados da geração de efluentes líquidos (quantidade de efluente líquido gerada no ano do inventário em m³/ano). Este cálculo é realizado multiplicando a contribuição per capita de esgoto, tabela com o dado disponível na DZ-215 (Tabela 10), pelo número de funcionários.

Tabela 10 – Contribuição per capita de esgoto e carga orgânica sanitária unitária, em atividades industriais, estabelecimentos comerciais e canteiro de obras.

Padrão	Contribuição <i>per capita</i> de esgoto (litro/dia)	Contribuição unitária de carga orgânica (g DBO/dia)
Atividade não residencial em geral	70	25
Atividade não residencial com refeitório dotado de cozinha	95	50

Fonte: DZ-215.r-4 – Diretriz de controle de carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos de origem sanitária. Disponível em: <http://www.tesalab.com.br/site/downloads/INEA_DZ-215.pdf>. Acesso em mar. 2019.

Assim, seguiu com o seguinte cálculo:

$$\begin{aligned} 70 \times 69 &= 4830 \text{ L/dia} \\ 4830/1000 &= 4,830 \text{ m}^3/\text{dia} \\ 4,830 \times 365 &= 1762,95 \text{ m}^3/\text{ano} \end{aligned}$$

Passo 3 – Dados da composição orgânica do efluente: deve-se preencher os dados relativos à carga orgânica degradável do efluente, escolhendo se a unidade do dado é DBO (Demanda Biológica de Oxigênio) ou DQO (Demanda Química de Oxigênio).

Foi feito o seguinte cálculo, com base na DZ-215 (Tabela 10):

$$\begin{aligned} 25 \times 69 &= 1725 \text{ g DBO/dia} \\ 1725/1000 &= 1,725 \text{ kg DBO/dia} \\ 1,725 \times 365 &= 629,625 \text{ kg DBO/ano} \end{aligned}$$

O componente orgânico degradável do efluente foi o valor inserido na ferramenta *GHG Protocol Brasil*, que se obteve da divisão do valor encontrado da quantidade de efluente líquido gerado pelo valor da contribuição unitária de carga orgânica:

$$629,625/1762,95 = 0,357 \text{ kg DBO/m}^3$$

Em seguida, é necessário preencher os dados sobre a quantidade de nitrogênio presente no efluente e o fator de emissão de N₂O do efluente. Se não possuir um fator de emissão de N₂O específico, é possível deixar em branco. Neste caso, a ferramenta utilizará o *default* sugerido por IPCC (2006). Os dados de Nitrogênio inseridos na ferramenta para a quantificação foram obtidos através de relatórios mensais emitidos pelo SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial). A empresa realizou uma média destes valores e a repassou para que fosse realizado o cálculo das emissões de GEE. Este quantitativo foi de 45 kgN/m³.

Passo 4 – Tipo de tratamento aplicado ao efluente (é necessário escolher o tipo de tratamento aplicado ao efluente, neste caso, foi selecionada a opção Reator anaeróbio).

Passo 5 – Recuperação de CH₄ (se houver, nesta linha é indicado preencher a quantidade de metano recuperado no tratamento de efluentes, no ano inventariado). Não foi inserido nenhum valor.

Caso indicada no Passo 1 a existência de tratamento sequencial, é preciso inserir os dados para o segundo tipo de tratamento anaeróbico aplicado ao efluente. Assim, seguem os Passos 6, 7, 8 e 9. No caso da empresa estudada, não há tratamentos sequenciais.

As emissões totais em CO₂ equivalente, em toneladas métricas, foi de 193,204 tCO_{2eq}.

5.1.6 Energia

O Escopo 2 é referente à contabilização das emissões de GEE na geração de eletricidade, calor ou vapor comprados, sendo estas emissões geradas no local onde a energia foi produzida e posteriormente consumida pela empresa inventariada. Ressalta-se que se a empresa produzir algum dos tipos de energia, as emissões geradas por esse processo não poderão ser relatadas neste escopo, mas sim no Escopo 1 (ABNT, 2015).

A empresa em estudo compra toda a energia utilizada em sua instalação. Logo, para o quantitativo desta categoria, foi solicitado o consumo de energia durante os meses do ano de 2017. Os dados estão revelados na Tabela 11.

Tabela 11 – Consumo relacionado às emissões de Escopo 2.

Escopo 2 - Consumo de Energia Elétrica (MWh) ¹												
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Quant. Utilizada	2362,58	4819,98	6439,16	5556,45	5216,43	5137,2	4086,16	4391,18	5010,36	5178,81	5441,95	4690,07
Total	58.330,32											

¹Dados obtidos através de faturas de cobranças de Concessionária.

Fonte: elaborada pela autora com base nos dados disponibilizados pela empresa em estudo (2017).

Como mostra a Tabela 11, o consumo de energia elétrica para 2017 foi de 58.330,32 MWh. Em janeiro houve uma redução no consumo. Isto se deve, principalmente, em função das atividades da indústria neste mês serem reduzidas. Os demais meses seguiram a faixa entre 4000 e 6000 MWh. Com o relato destes dados na ferramenta, obteve-se o total das emissões em CO₂ equivalente (em toneladas métricas): 5.460,947 tCO_{2eq}.

5.1.7 Adaptação da Ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol para um reporte mensal

Foi feita uma adaptação da ferramenta *GHG Protocol* versão 2018.1.4 para um reporte mensal, de modo a proporcionar à empresa um controle eficaz e para que a mesma consiga

utilizar esses cálculos como um indicador mensal das suas emissões. Não foi feita nenhuma alteração nas metodologias e fatores de emissão propostos pela ferramenta original. Deu-se continuidade nas colunas da planilha para que fosse possível mensurar as emissões mês a mês, reorganizando e estruturando a ferramenta.

É importante destacar que a ferramenta *GHG Protocol* é flexível, sendo possível que diversos segmentos a utilizem para a quantificação de suas emissões. Logo, apenas as tabelas aplicáveis à indústria em estudo é que foram adaptadas, sendo as demais desconsideradas. Isto porque não foram/são necessárias para a quantificação das emissões de GEE da siderurgia estudada.

A ferramenta original utiliza, em alguns cálculos, a Função ARRED no Excel. Esta função arredonda um valor para um número especificado de dígitos. Assim, se em determinada célula (B1, por exemplo) contiver um valor e desejar arredonda-lo para três casas decimais, basta inserir:

ARRED(B1; 3)

Onde:

B1 = célula que se encontra o número que se deseja arredondar

3 = número de dígitos para o qual se deseja arredondar

Na ferramenta adaptada optou-se por não arredondar o número, utilizando-o com todas as casas decimais para que o valor seja o mais real possível.

Uma outra explicação que se faz necessária é a diferença no valor final quando este é arredondado. Por exemplo: se pegar o número 10 e dividi-lo por três o resultado será uma dízima equivalente a 3,33333333333333. Posteriormente, ao repetir esta dízima por 3 vezes, a soma será 10. Mantendo este cálculo nestas três células e considerando que este valor seja a emissão de um determinado precursor, ao multiplica-lo pelo GWP do metano, por exemplo, e soma-los ao final, o resultado será:

$$(3,33333333333333*25) + (3,33333333333333*25) + (3,33333333333333*25) = 250$$

Porém, se esta dízima for arredondada para 3 casas decimais e seguir com o mesmo cálculo, o resultado será diferente:

$$(3,333*25) + (3,333*25) + (3,333*25) = 249,97$$

Toda esta demonstração anterior fez-se necessário para justificar a diferença encontrada entre os valores da ferramenta original para a adaptada. Evidencia-se que o arredondamento é uma técnica reconhecida e muito utilizada na matemática (principalmente quando não se dispõe de um dispositivo para a realização de cálculos numéricos) em que torna mais fáceis as contas com números que têm uma grande quantidade de algarismos. Foi dispensado este recurso apenas pelo motivo de o Excel ser um editor de planilhas que auto realiza a contagem proposta.

As tabelas 12, 13, 14 e 15 mostram os valores encontrados na ferramenta adaptada para o reporte mensal e na ferramenta original do Programa *GHG Protocol*.

Tabela 12 – Emissões de gases de efeito estufa encontrados nas ferramentas utilizadas da categoria Combustão estacionária.

Combustão Estacionária (Reporte Mensal)		
Mês	Emissões Totais em CO _{2eq} (Toneladas Métricas)	Emissões Totais em CO ₂ Biog. (Toneladas Métricas)
Jan	831,797	4.985,281
Fev	2.102,317	13.361,276
Mar	2.173,851	12.862,826
Abr	2.194,952	12.337,364
Mai	2.206,462	11.665,905
Jun	2.403,182	14.418,492
Jul	2.229,584	12.218,985
Ago	1.964,285	10.949,109
Set	2.010,018	11.993,915
Out	2.056,937	11.899,373
Nov	2.174,286	12.208,365
Dez	2.060,209	10.315,339
Total	24.407,880	139.216,231
Dados Originais <i>GHG Protocol</i>	Emissões Totais em CO _{2eq} (Toneladas Métricas)	Emissões Totais em CO ₂ Biog (Toneladas Métricas)
	24.407,875	139.216,231

Fonte: autora (2019).

Tabela 13 – Emissões de gases de efeito estufa encontrados nas ferramentas utilizadas da categoria Combustão móvel.

Combustão Móvel (Reporte Mensal)		
Mês	Emissões Totais em CO _{2eq} (Toneladas Métricas)	Emissões Totais em CO ₂ Biog (Toneladas Métricas)
Jan	17,598	1,240
Fev	37,246	2,594
Mar	45,558	3,650
Abr	36,816	2,967
Mai	34,535	2,786
Jun	32,721	2,635
Jul	39,301	3,164
Ago	29,407	2,374
Set	33,368	2,691
Out	22,136	1,790
Nov	48,245	3,879
Dez	36,377	2,922
Total	413,307	32,693
Dados Originais	Emissões Totais em CO _{2eq} (Toneladas Métricas)	Emissões Totais em CO ₂ Biog (Toneladas Métricas)
<i>GHG Protocol</i>	413,371	32,693

Fonte: autora (2019).

Tabela 14 – Emissões de gases de efeito estufa encontrados nas ferramentas utilizadas das categorias Emissões fugitivas e Processos industriais.

Emissões Fugitivas (Reporte Mensal)		Processos Industriais (Reporte Mensal)	
Mês	Emissões Totais em CO _{2eq} (Toneladas Métricas)	Mês	Emissões Totais em CO _{2eq} (Toneladas Métricas)
Jan	0,000	Jan	548,866
Fev	0,048	Fev	1.759,425
Mar	0,268	Mar	2.070,978
Abr	0,112	Abr	1.749,116
Mai	0,000	Mai	1.641,895
Jun	0,000	Jun	1.638,765
Jul	0,000	Jul	1.714,951
Ago	0,000	Ago	1.528,520
Set	0,370	Set	1.771,463
Out	0,503	Out	1.909,887
Nov	0,080	Nov	1.936,694
Dez	0,000	Dez	1.491,944
Total	1,381	Total	19.762,503
Dados Originais	Emissões Totais em CO _{2eq} (Toneladas Métricas)	Dados Originais	Emissões Totais em CO _{2eq} (Toneladas Métricas)
<i>GHG Protocol</i>	1,381	<i>GHG Protocol</i>	19.762,515

Fonte: autora (2019).

Tabela 15 – Emissões de gases de efeito estufa encontrados nas ferramentas utilizadas das categorias Efluentes e Energia.

Efluentes (Reporte Mensal)		Energia (Reporte Mensal)	
Mês	Emissões Totais em CO _{2eq} (Toneladas Métricas)	Mês	Emissões Totais em CO _{2eq} (Toneladas Métricas)
Jan	16,109	Jan	133,722
Fev	16,109	Fev	258,351
Mar	16,109	Mar	448,166
Abr	16,109	Abr	452,851
Mai	16,109	Mai	441,832
Jun	16,109	Jun	347,275
Jul	16,109	Jul	394,314
Ago	16,109	Ago	576,123
Set	16,109	Set	633,310
Out	16,109	Out	707,425
Nov	16,109	Nov	649,225
Dez	16,109	Dez	418,354
Total	193,304	Total	5.460,947
Dados Originais <i>GHG Protocol</i>	Emissões Totais em CO _{2eq} (Toneladas Métricas) 193,204	Dados Originais <i>GHG Protocol</i>	Emissões Totais em CO _{2eq} (Toneladas Métricas) 5.460,947

Fonte: autora (2019).

Como mencionado, a empresa realizou uma média com os dados de Nitrogênio encontrados nas análises realizadas pelo SENAI. Desta forma, por não ter posse e acesso a estes relatórios, os valores de entrada para a quantidade de Nitrogênio no efluente gerado corresponderam à média fornecida pela empresa (45 kgN/m³). Este valor foi repetido nos doze meses. Por esse motivo os valores das Emissões Totais em CO_{2eq} foram os mesmos em todos os meses.

Com relação ao Escopo 2, a categoria Energia, a adaptação foi simples. A própria ferramenta continha as emissões totais de CO₂ calculadas mês a mês por causa dos parâmetros necessários (Fator de Emissão) para o cálculo desta categoria disponibilizado mensalmente pelo Sistema Interligado Nacional (SIN).

5.1.8 Síntese dos Resultados da Ferramenta *GHG Protocol* (Ferramenta original do Programa)

As emissões de gases de efeito estufa (tGEE) inventariados pela ferramenta do *GHG Protocol*, conforme prescrito no Protocolo de Quioto, podem ser visualizadas a seguir na Tabela 16.

Tabela 16 – Emissão total de gases efeito estufa em toneladas.

GEE	Escopo 1 (tGEE)	Escopo 2 (tGEE)
CO ₂	36.483,01	5.460,95
CH ₄	261,568	-
N ₂ O	5,893	-
HFCs	-	-
PFCs	-	-
SF ₆	-	-
NF ₃	-	-
Total	36.750,47	5.460,95

Fonte: Cálculo realizado pela ferramenta *GHG Protocol* versão 2018.1.4 (2018).

Como se pode observar na Tabela 16, o dióxido de carbono é o gás de efeito estufa mais representativo das emissões da siderurgia. Este quantitativo corresponde com 99,27% dos GEE's emitidos no Escopo 1. De acordo com Carvalho, Mesquita e Araújo (2015), isso se deve, principalmente, pela transformação de gusa em aço nas siderurgias, que tanto nos conversores como nos fornos elétricos, sempre libera monóxido (CO) e dióxido de carbono (CO₂).

Ao converter as emissões de gases de efeito estufa (tGEE) para emissão de dióxido de carbono equivalente (tCO_{2eq}), tem-se o seguinte cenário (Tabela 17):

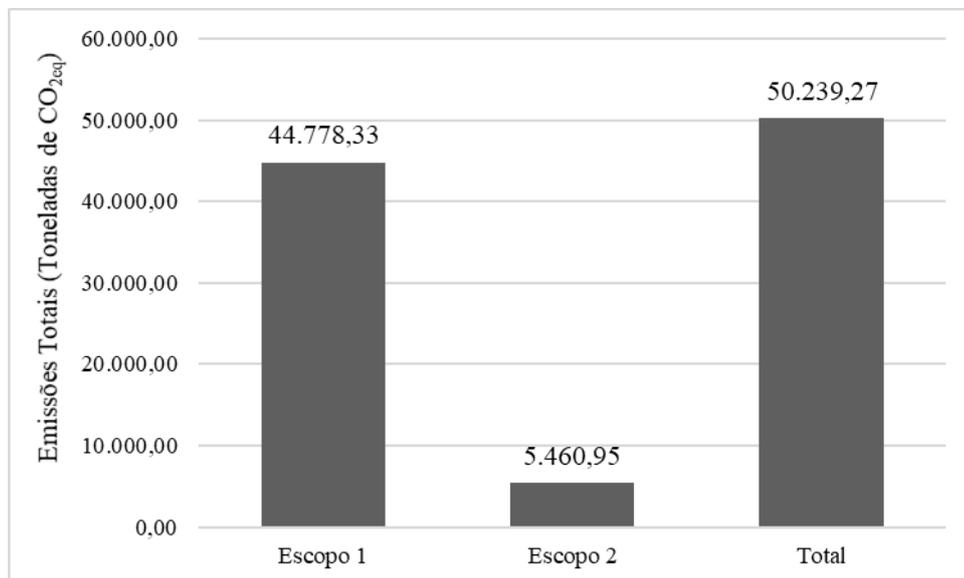
Tabela 17 – Emissão total de gases de efeito estufa em toneladas de CO_{2eq}.

GEE	Escopo 1 (tCO_{2eq})	Escopo 2 (tCO_{2eq})
CO ₂	36.483,01	5.460,95
CH ₄	6.539,20	-
N ₂ O	1.756,11	-
HFCs	-	-
PFCs	-	-
SF ₆	-	-
NF ₃	-	-
Total	44.778,33	5.460,95

Fonte: Cálculo realizado pela ferramenta *GHG Protocol* versão 2018.1.4 (2018).

O potencial de aquecimento global (contribuição do GEE para o aquecimento global – GWP em inglês) do metano e do óxido nítrico utilizados pela ferramenta *GHG Protocol* foram, respectivamente, 25 e 298 (tendo como referência o IPCC 2007). Por conta disso, observa-se que os valores representativos destes GEE's se elevam e as emissões totais do Escopo 1 chegam a 44.778,33 tCO_{2eq}. As emissões do Escopo 2 (considerando o GWP do CO₂ igual a 1) fecharam em 5.460,95 tCO_{2eq}. A Figura 9 ilustra melhor as emissões totais em CO_{2eq}:

Figura 9 – Emissões totais por Escopo em toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO_{2eq}).



Fonte: autora (2019).

Como observado na Figura 9, as emissões totais de GEE fecharam em 50.239,27 tCO_{2eq}. As emissões de Escopo 1 representaram 89,13% do total de CO_{2eq} emitidos pelas fontes. Destaca-se que a configuração da matriz energética brasileira contribui para que as emissões de Escopo 2 (10,87% do total de 50.239,27 tCO_{2eq} emitidos) sejam reduzidas. Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2016), 43,5% do consumo de energia nacional é proveniente de fontes renováveis enquanto no resto do mundo este percentual é equivalente a 14%. Com relação à utilização de fontes para a geração de energia elétrica no Brasil, observa-se que 82% é equivalente à energia renovável. Este cenário é muito positivo para o Brasil, pois além de possuírem menores custos de operação, as usinas que geram energia a partir de fontes renováveis, em geral, emitem bem menos gases estufas.

Diante do exposto, cabe agora desmembrar melhor as emissões referentes ao Escopo 1 (as maiores emissões relatadas neste trabalho). A Tabela 18 representa as emissões diretas referentes ao Escopo 1 (insumos utilizados para combustão – estacionária ou móvel, em máquinas e processos, às emissões fugitivas relativas à recarga de extintores de incêndio, às reações físico-químicas dos processos industriais e ao tratamento de efluentes sanitários).

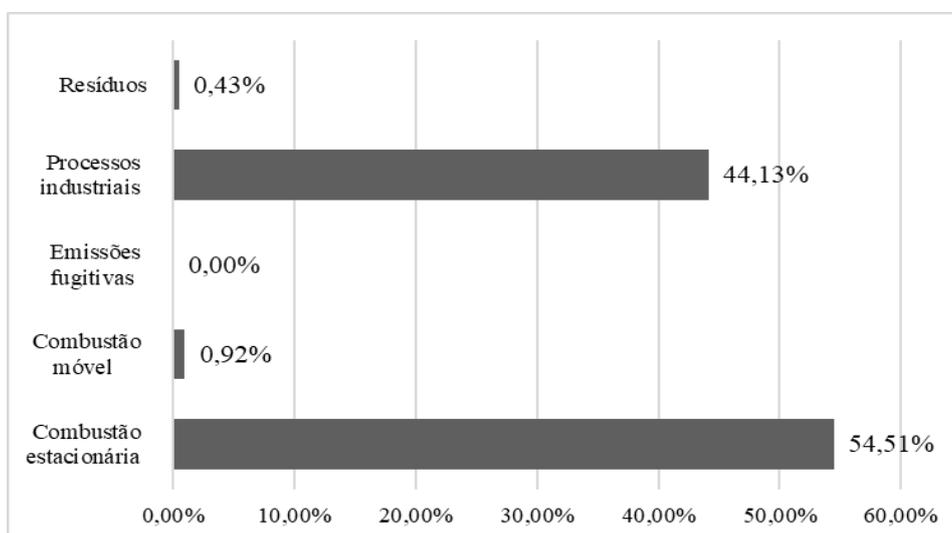
Tabela 18 – Resumo das emissões de GEE da organização, por escopo e categoria.

GEE	Combustão estacionária	Combustão móvel	Emissões fugitivas	Processos industriais	Resíduos (resíduos sólidos + efluentes)	Total de emissões Escopo 1
CO ₂ (t)	16.312,97	406,17	1,38	19.762,50	-	36.483,01
CH ₄ (t)	261,24	0,03	-	-	0,30	261,57
N ₂ O (t)	5,25	0,02	-	-	0,62	5,89
HFC (t)	-	-	-	-	-	-
PFC (t)	-	-	-	-	-	-
SF ₆ (t)	-	-	-	-	-	-
NF ₃ (t)	-	-	-	-	-	-
CO _{2eq} (t)	24.407,88	413,37	1,38	19.762,50	193,20	44.778,33

Fonte: Cálculo realizado pela ferramenta *GHG Protocol* versão 2018.1.4 (2018).

Na Tabela 18 observa-se a grande representatividade da categoria Combustão estacionária (24.407,88 tCO_{2eq}), responsável por 54,51% das emissões de GEE do Escopo 1 (44.778,33 tCO_{2eq}), seguida da categoria Processos industriais (19.762,50 tCO_{2eq}). A Figura 10, ilustra a participação por categoria nas emissões.

Figura 10 – Emissão de gases de efeito estufa do Escopo 1 por categoria.



Fonte: autora (2019).

A categoria Combustão estacionária, como já mencionado, envolve a queima de combustíveis por meio de equipamentos fixos. Dentre estes, como se pode observar na Tabela 19, estão o alto forno, estufas, máquinas centrífugas e outros.

Tabela 19 – Detalhamento das emissões de gases de efeito estufa da categoria Combustão estacionária.

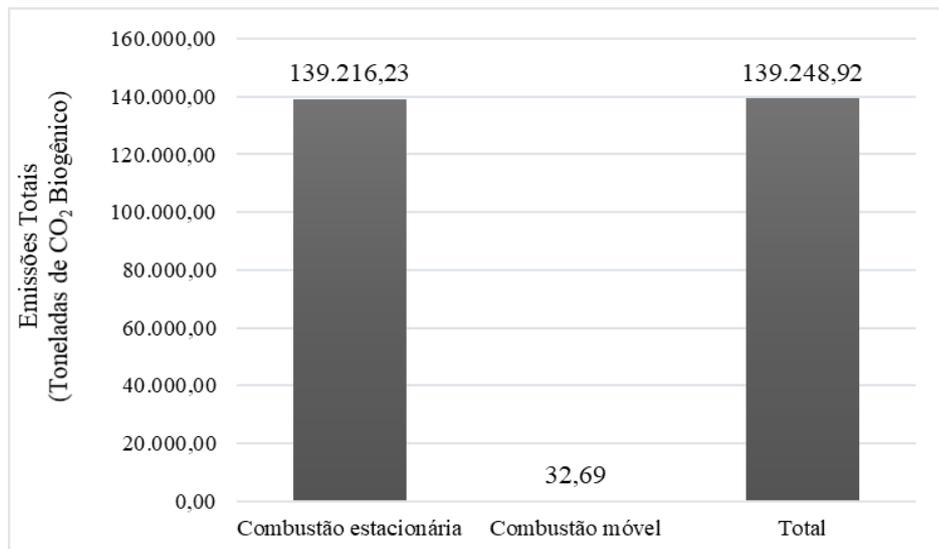
Descrição da Fonte	Combustível Utilizado	Quantidade Consumida	Unidades	Emissões em CO _{2eq} (ton métricas)
Alto Forno	Carvão Vegetal	48.240,38	Toneladas	8.078,99
Aquecedor de Minério, Estufas, Fornos, Máquinas Centrífugas, Misturador e Refeitório.	Gás Natural Seco Injetado	7.890.316,00	m ³	16.324,72
Estufas e Fornos	Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	0,36	Toneladas	1,06
Laboratório e Manutenção (Solda e Corte)	Gás Acetileno	0,919	Toneladas	3,11
Total		24.407,87		

Fonte: Cálculo realizado pela ferramenta *GHG Protocol* versão 2018.1.4 (2018).

Observa-se que o combustível utilizado em maior quantidade é o gás natural (7.890.316,00 m³). Conseqüentemente, este contribui com, aproximadamente, 67% das emissões de GEE (16.324,72 tCO_{2eq}) dentro da categoria Combustão estacionária (24.407,87 tCO_{2eq}). Em seguida está o consumo por carvão vegetal (48.240,38 toneladas), que representa, aproximadamente, 33% das emissões.

Como já mencionado anteriormente, as emissões de CO₂ biogênico precisam ser reportadas, mas não contabilizadas dentro dos Escopos, pois são consideradas neutras (a emissão de CO₂ é igual a remoção de CO₂). Estas emissões corresponderam à 139.248,92 toneladas. A Figura 11 representa melhor estas emissões.

Figura 11 – Emissões em toneladas de CO₂ biogênico.



Fonte: autora (2019).

Analisando os dados da Figura 11, observa-se que a maior contribuição desse tipo de emissão é proveniente da combustão do carvão vegetal consumido no alto forno da siderurgia em estudo, pois 99,98% desta emissão neutra equivale à Combustão estacionária (139.216,23 tCO₂ Biogênico) e os outros 0,02%, são referentes à fração de biodiesel e etanol presentes no diesel e na gasolina nacional, representantes da categoria Combustão móvel (32,69 tCO₂ Biogênico).

Os valores obtidos mostraram que as emissões de Escopo 1 são as maiores na indústria (44.778,33 tCO_{2eq}), representando mais de 89% das emissões totais, em CO_{2eq}. Dentre estas, a categoria Combustão estacionária teve grande representatividade, principalmente pelo uso do gás natural e, em segundo, do carvão vegetal. Quanto a este último, vale ressaltar que as emissões contabilizadas como de CO₂ equivalente correspondem apenas às emissões de CH₄ e N₂O, uma vez que as emissões de CO₂ (maior representação das emissões com 139.216,23 toneladas emitidas) não são contabilizadas dentro dos escopos por serem consideradas emissões neutras.

Com relação à categoria Combustão móvel, as emissões de CO₂ biogênico representaram, aproximadamente, 8%. Este valor é equivalente à adição obrigatória de etanol na gasolina ou biodiesel no diesel, regulamentados por resoluções específicas no Brasil (Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014).

A configuração da matriz energética brasileira colabora para que as emissões de Escopo 2 sejam reduzidas, aqui representando 10,87% do total das emissões. Complementar a esta condição, a arquitetura dos edifícios da empresa que serviu como objeto desta pesquisa

contribui com a iluminação natural do ambiente, reduzindo a necessidade de intensa iluminação artificial.

De acordo com a Confederação Nacional da Indústria (CNI) e o Instituto Aço Brasil (2017), há ações com potencial de redução das emissões de CO₂ no setor siderúrgico que se dividem em: medidas de mitigação nos processos produtivos (essas medidas podem ser resultantes da melhoria na eficiência energética, no controle operacional, através da substituição da matéria-prima utilizada, assim como alteração de processos) e infraestrutura de baixo carbono (oportunidades externas às plantas industriais).

A qualidade da matéria-prima utilizada pode ser um fator determinante na mitigação das emissões do setor siderúrgico. Segundo a CNI e o Instituto Aço Brasil (2017), a qualidade da matéria-prima influencia consideravelmente no consumo de energia e nas emissões do processo produtivo, visto que maiores teores de ferro demandam um menor consumo de energia para a sua extração. Porém, a disponibilidade de minério de ferro com alto teor de ferro e os custos das opções alternativas a este material são os grandes desafios.

A substituição do carvão mineral por carvão vegetal também é um exemplo de medida de mitigação de GEE nos processos produtivos. O uso do carvão vegetal renovável é um caminho alternativo de desenvolvimento para mitigar as emissões de GEE, atuando diretamente na melhoria da eficiência dos recursos durante o processo de carbonização para a produção de ferro-gusa, ferroligas e aço. É importante ressaltar que os recursos da biomassa renovável são obtidos a partir de florestas plantadas de forma sustentável e o ferro-gusa proveniente do carvão vegetal sustentável pode ser considerado um ferro-gusa verde (BRASIL, 2016).

Para elaboração do metal, a empresa em estudo primeiramente faz uma fusão em altos fornos, utilizando carvão vegetal produzido em sua própria unidade. O uso de biomassa (como por exemplo o uso de carvão vegetal ao invés de carvão mineral) é um ponto muito positivo que merece ser destacado. Caso a empresa não utilizasse a biomassa renovável, não existiriam emissões neutras e, conseqüentemente, suas emissões de gases de efeito estufa seriam superiores, visto que o carvão mineral é um insumo de origem fóssil e não renovável, fonte de emissão de gases de efeito estufa.

De modo geral, há uma forte presença do carvão vegetal na matriz energética da siderurgia brasileira, sendo o único país do mundo que ainda mantém significativa produção de ferro-gusa, aço e ferroligas com uso de carvão vegetal. O Brasil utiliza esse insumo como termorredutor na produção de ferro-gusa, visto a disponibilidade de vastas áreas de floresta e ausência de carvão metalúrgico – este país é totalmente dependente da importação deste

produto, que contribui com o aumento do custo de produção (CARVALHO; MESQUITA; ARAÚJO, 2015).

Com relação ao valor encontrado das emissões corporativas de GEE em CO_{2eq}, destaca-se que não há um valor pré-definido do quantitativo ideal que cada organização possa emitir. Isso porque, desta forma, elas entenderiam que ao atingir esta meta estabelecida não precisariam mais se preocupar com esta temática, afinal teriam alcançado o valor estipulado. Assim, é fundamental que as instituições busquem sempre pela melhoria contínua e aperfeiçoamento dos seus processos.

É fundamental que a siderurgia estudada desenvolva novas pesquisas que sirvam como diagnóstico da sua situação frente à economia de baixo carbono, identificando os riscos e oportunidades. Sequencialmente, é necessário:

- planejar ações de longo prazo no tema, incluindo um *Benchmark* setorial;
- definição de novas estratégias de mitigação e metas de redução;
- desenvolver sua política de estímulo de mudança comportamental, visando à sensibilização e à educação de seus colaboradores frente à questão climática;
- incentivar o cálculo do inventário de GEE em fornecedores com a possibilidade de incluir como um critério para compra, bem como inserir as emissões de Escopo 3 nos seus próximos inventários, buscando sempre o aperfeiçoamento dos mesmos.

Muitas das tecnologias que estão sendo pesquisadas para mitigar as emissões de GEE estão associadas à Captura e Armazenamento de Carbono (CCS – *Carbon Capture and Storage*, em inglês), que captura as emissões de CO₂ liberadas através do uso de combustíveis fósseis nos processos industriais e na geração de eletricidade evitando, assim, que o gás atinja a atmosfera. O uso de CCS em processos que utilizam a biomassa como combustível é capaz de apresentar bons resultados, podendo considerar suas emissões como carbono negativo.

6 CONCLUSÃO E SUGESTÕES

6.1 CONCLUSÃO

Este estudo teve como proposta a contabilização das emissões de gases de efeito estufa de uma empresa do ramo da siderurgia, em que foi utilizada a metodologia desenvolvida pelo Programa Brasileiro *GHG Protocol*.

As emissões de GEE equivalentes ao Escopo 1, inventariados pela ferramenta *GHG Protocol*, totalizaram 44.778,33 tCO_{2eq}, sendo:

- 24.407,88 tCO_{2eq} de Combustão estacionária;
- 413,37 tCO_{2eq} de Combustão móvel;
- 1,38 tCO_{2eq} de Emissões fugitivas;
- 19.762,50 tCO_{2eq} de Processos industriais; e
- 193,20 tCO_{2eq} de Efluentes.

Observa-se que a categoria Combustão estacionária foi a mais representativa, seguida de Processos industriais. Elas representam, respectivamente, 54,51% e 44,13% do total de CO_{2eq} emitidos pelas fontes de Escopo 1.

Dentro deste quantitativo apresentado em Combustão estacionária, destacam-se as emissões provenientes de Gás Natural Seco Injetado, que representam 67% do total das emissões de CO_{2eq} nesta categoria, e o carvão vegetal, representando 33%. As emissões de Escopo 2 somaram-se 5.460,95 tCO_{2eq}. Sendo assim, as emissões de Escopo 1 representaram 89,13% do total de CO_{2eq} emitidos pelas fontes. A configuração da matriz energética brasileira contribui para que as emissões de Escopo 2 sejam minimizadas.

A metodologia apresentada se mostrou como uma ferramenta positiva para a elaboração do inventário anual de GEE. Porém, para uma gestão mais minuciosa, o controle com um menor reporte é a melhor alternativa. Desta forma, a adaptação da ferramenta *GHG Protocol* versão 2018.1.4 para um reporte mensal foi acertada e eficiente, pois proporcionou à empresa um indicador para controle das suas emissões de gases estufas, em que se fez possível conhecê-las mês a mês, identificando aqueles em que houve os maiores e menores relatos.

Como exemplos, a Combustão estacionária (categoria com maior quantitativo de emissões de GEE) que ultrapassou no mês de junho em 369,192 tCO_{2eq} o valor médio mensal (2.033,990 tCO_{2eq}) e a categoria Energia, que teve altos valores de emissão nos meses de

setembro, outubro e novembro (633,310 tCO_{2eq}, 707,425 tCO_{2eq} e 649,225 tCO_{2eq}, respectivamente) revelando que neste período ultrapassaram a média de emissão, estimada em 455,079 tCO_{2eq}.

Observou-se o interesse da empresa nas questões relativas ao aquecimento global, onde a mesma criou metas de redução em seu consumo de energia, incentivou aprimorar seu inventário de GEE e desenvolver um indicador de controle de suas emissões (possibilitando que esta pesquisa fosse desenvolvida), além de medidas práticas, como a utilização do carvão vegetal. Recomenda-se que a empresa analise a viabilidade técnica, econômica e, principalmente, ambiental de inserir a tecnologia de Captura e Armazenamento de Carbono (CCS) ao seu processo, visto que o CCS se mostra como uma tecnologia viável para mitigar as emissões de GEE em grande escala, a médio e curto prazo.

Em suma, trabalhar pela contínua melhoria da eficiência energética é uma excelente opção para mitigar as emissões de GEE. Para isso, é necessário implantar ações de melhorias no controle operacional e substituição de equipamentos por outros mais eficientes. A definição da estratégia a ser adotada dependerá da relação custo/benefício de cada ação e de sua significância.

6.2 SUGESTÕES

Destaca-se a possibilidade de compensação das emissões pela empresa através do mercado de carbono, onde há possibilidade de comprar créditos de carbono e compensar o CO_{2eq} emitido (1 crédito de carbono corresponde a 1 tCO_{2eq}). Os valores são variáveis de acordo com o mercado e existem instituições financeiras que negociam a compra e venda desses créditos. Outra possibilidade para entrar neste mercado além da compra de créditos de carbono é através do plantio de árvores.

Como já mencionado, as florestas têm a capacidade natural de sequestrar CO₂ da atmosfera através do processo de fotossíntese, fixando-o sob a forma de carbono. Por outro lado, as árvores devolvem o gás para a atmosfera quando respiram durante a noite e quando morrem, com a sua decomposição e/ou queima da sua biomassa.

Deste modo, para que se possa avaliar o potencial para a geração de créditos de carbono em florestas é fundamental que sejam obtidas estimativas confiáveis do estoque de carbono presente na biomassa da vegetação. Assim, é possível estimar a quantidade de carbono, emitida ou sequestrada, no tempo e no espaço. Recomenda-se, então, que a empresa realize um estudo de sua floresta plantada, fonte da matéria-prima carvão vegetal utilizada

pela mesma, de modo a analisar a dinâmica de sua vegetação. Estudos similares foram desenvolvidos por Ribeiro et al. (2010) e Oliveira et al. (2016).

Segundo Higuchi et al. (2004), usando as estimativas de determinados parâmetros (aspectos de recrutamento, mortalidade e crescimento do povoamento florestal) é possível entender o balanço do carbono da vegetação e saber se a floresta, nessas condições, está funcionando como fonte ou fixadora de carbono.

Concomitantemente, sugere-se um estudo para o cálculo de Neutralização das emissões, assim como fizeram Aguiar, Fortes e Martins (2016). A partir do resultado de emissão de GEE em tCO_{2eq} e de dados de fixação de carbono pelas árvores, é possível estipular o número de espécies arbóreas nativas que devem ser plantadas para neutralizar o CO_2 emitido pelo período de um ano. Assim, a empresa deve realizar estes estudos comparando os resultados com a real situação de sua floresta plantada e estruturando-a, se necessário.

7 REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14064**: Guia de Implementação - Gestão de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (GEE). Rio de Janeiro: ABNT; Sebrae, 2015. 46 p. Disponível em: <<http://abnt.org.br/paginampe/biblioteca/files/upload/anexos/pdf/4ee5b810af4a3aee073ab89f0a573a1a.pdf>>. Acesso em: 07 mar. 2019

AGUIAR, Lídia Vaz; FORTES, Julio Domingos Nunes; MARTINS, Eduardo. Neutralização compensatória de carbono - estudo de caso: indústria do setor metal mecânico, Rio de Janeiro (RJ). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 1, p.197-205, mar. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41520201600100116414>.

AL-GHUSSAIN, Loiy. Global warming: review on driving forces and mitigation. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, [s.l.], v. 38, n. 1, p.13-21, 5 out. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ep.13041>.

ALVES, José Eustáquio Diniz. Sustentabilidade, Aquecimento Global e o Decrescimento Demo-econômico. **Revista Espinhaço | UFVJM**, [S.l.], p. 4-16, mar. 2017. ISSN 2317-0611. Disponível em: <<http://www.revistaespinhaco.com/index.php/journal/article/view/44>>. Acesso em: 28 mai 2018.

BARBOSA, Marcia Schumack Militão; LIMA, Keila dos Santos Cople; FRIEDE, Roy Reis; MIRANDA, Maria Geralda de. A relação entre pobreza e degradação ambiental no Brasil sob a ótica dos indicadores PIB/ IDH. **Semiões**, [s.l.], v. 9, n. 1, p.17-35, 24 mar. 2016. Sociedade Unificada de Ensino Augusto Motta -UNISUAM. <http://dx.doi.org/10.15202/1981996x.2015v9n1p17>.

BRASIL. Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010. Regulamenta os arts. 6º, 11 e 12 da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 10 dez. 2010.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 30 dez. 2009.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Acordo de Paris**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>>. Acesso em: 27 mar. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **INDC (Contribuição Nacionalmente Determinada)**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/10570-indc-contribui%C3%A7%C3%A3o-nacionalmente-determinada>>. Acesso em: 27 mar. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Siderurgia Sustentável**. 2016. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/itemlist/category/220-clima-politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima-siderurgia-sustentavel>>. Acesso em: 04 abr. 2019.

BRASIL. **Plano Setorial de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima Para A Consolidação de Uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Indústria de Transformação**. Brasília, DF, jun. 2013.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 21 nov. 2018.

CARVALHO, Pedro Sérgio Landim de; MESQUITA, Pedro Paulo Dias; ARAÚJO, Elizio Damião Gonçalves de. Sustentabilidade da siderurgia brasileira: eficiência energética, emissões e competitividade. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.41, p. 181-236, mar. 2015.

CEBDS - CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (Brasil) (Org.). **Diálogo de Talanoa**: Relatório. Rio de Janeiro, 2018. 32 p. Disponível em: <https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/14773/1542124839Relatrio_Talanoa_final.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2019.

CIFCI, Eren; OLIVER, Matthew. Reassessing the Links between GHG Emissions, Economic Growth, and the UNFCCC: A Difference-in-Differences Approach. **Sustainability**, [s.l.], v. 10, n. 2, p.00-00, 28 jan. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su10020334>.

COMISSÃO MISTA PERMANENTE SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – CMMC. **Legislação Brasileira Sobre Mudanças Climáticas**. Brasília: Congresso Nacional, 2013.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI); INSTITUTO AÇO BRASIL. **A Indústria do Aço no Brasil**. Brasília: CNI, 2017. 64 p. Disponível em: <https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/04/a2/04a2a7ac-4a9f-4505-84a5-f4c54242ead7/aco_brasil.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2019.

ECOUNIVERSO (Brasil). **Inventário de Emissões de Carbono nas Empresas: Uma abordagem prática**. São Paulo: Fundação Instituto de Administração, 2019. Color. Curso realizado em mar. 2019

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). **Matriz Energética e Elétrica**. 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-letrica>>. Acesso em: 02 abr. 2019.

FARIAS, Christiano Alves; NETO, João Zaleski; ZULIETTI, Luis Fernando; RUGGIERO, Sérgio. No limiar da quarta revolução industrial: iniciativas para sustentabilidade por empresas líderes do setor automotivo rumo à nova economia. **Revista de Administração Faces Journal**, Minas Gerais, v. 12, n. 3, p.83-95, jul-set. 2013.

EAESP – Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getulio Vargas (Brasil). Revista Página22. **Gestão de Emissões**, São Paulo, p.1-14, jul. 2016. Disponível em: <<http://www.p22on.com.br>>. Acesso em: 18 abr. 2019.

FGV CES - CENTRO DE ESTUDOS EM SUSTENTABILIDADE; WRI – WORLD RESOURCES INSTITUTE. Especificações do programa brasileiro GHG Protocol: contabilização, quantificação e publicação de inventários. 2010. 75 p.

FINNEGAN, Stephen; SHARPLES, Steve; JOHNSTON, Tom; FULTON, Matt. The carbon impact of a UK safari park – Application of the GHG protocol using measured energy data. **Energy**, [s.l.], v. 153, p.256-264, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.033>.

GAUTO, Marcelo Antunes; ROSA, Gilber Ricardo. Siderurgia. In: GAUTO, Marcelo Antunes; ROSA, Gilber Ricardo. **Processos e Operações Unitárias da Indústria Química**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2011. p. 217-257.

HEUGUES, Mélanie. International environmental cooperation: a new eye on the greenhouse gas emissions' control. **Annals Of Operations Research**, [s.l.], v. 220, n. 1, p.239-262, 17 maio 2012. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10479-012-1156-8>.

HICKMANN, Thomas. Voluntary global business initiatives and the international climate negotiations: A case study of the Greenhouse Gas Protocol. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 169, p.94-104, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.183>.

HIGUCHI, Niro; CHAMBERS, Jeffrey; SANTOS, Joaquim dos; RIBEIRO, Ralfh João; PINTO, Alberto Carlos Martins; SILVA, Roseana Pereira da; ROCHA, Rosana de Miranda; TRIBUZY, Edgard Siza. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. **Revista Floresta**, v.34, n.3, p.295-304, 2004.

INSTITUTO AÇO BRASIL (Brasil). **Processo Siderúrgico**. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site2015/processo.html>. Acesso em: 11 set. 2019.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. **DZ-0215-R4: Diretriz de Controle de Carga Orgânica Biodegradável em Efluentes Líquidos de Origem Sanitária**. Rio de Janeiro: Inea, 2007. 17 p. Disponível em: http://www.tesalab.com.br/site/downloads/INEA_DZ-215.pdf. Acesso em: 08 mar. 2019.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL (Brasil). **História das Conferências do Clima**. Disponível em: <https://widgets.socioambiental.org/widgets/timeline/535?width=970&height=540&iframe=true#21>. Acesso em: 19 set. 2018.

IPCC, Intergovernmental Panel On Climate Change. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. 2006. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>. Acesso em: 01 nov. 2018.

IPCC, Intergovernmental Panel On Climate Change. **Frequently Asked Question 1.3. What is the Greenhouse Effect?** Disponível em: https://wg1.ipcc.ch/publications/wg1-ar4/faq/wg1_faq-1.3.html. Acesso em: 23 jul. 2019.

IPCC, Intergovernmental Panel On Climate Change. **IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4)**. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar4/>. Acesso em: 08 nov. 2018.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Global Warming of 1,5°C**. 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/>. Acesso em: 29 jan. 2019.

IPCC, Intergovernmental Panel On Climate Change. **Summary for policymakers**. 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_summary-for-policymakers.pdf>. Acesso em: 01 out. 2019.

MAN, Wenmin; ZHOU, Tianjun; JUNGCLAUS, Johann H. Effects of Large Volcanic Eruptions on Global Summer Climate and East Asian Monsoon Changes during the Last Millennium: Analysis of MPI-ESM Simulations. **Journal Of Climate**, [s.l.], v. 27, n. 19, p.7394-7409, out. 2014. American Meteorological Society. <http://dx.doi.org/10.1175/jcli-d-13-00739.1>.

MEDEIROS, Sófocles. **Química Ambiental**. 3. ed. Recife: Revista e Ampliada, 2005. 122 p.

MOK, Ken L.; HAN, Seung H.; CHOI, Seokjin. The implementation of clean development mechanism (CDM) in the construction and built environment industry. **Energy Policy**, v. 65, p.512-523, fev. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.039>.

MOSS, Richard H.; EDMONDS, Jae A.; HIBBARD Kathy A.; MANNING Martin R.; ROSE, Steven K.; VAN VUUREN, Detlef P.; CARTER, Timothy R.; EMORI, Seita; KAINUMA, Mikiko; KRAM, Tom; MEEHL, Gerald A.; MITCHELL, John F. B.; NAKICENOVIC, Nebojsa; RIAHI, Keywan; SMITH, Steven J.; STOUFFER, Ronald J.; THOMSON, Allison M.; WEYANT, John P.; WILBANKS, Thomas J. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, [s.l.], v. 463, n. 7282, p.747-756, fev. 2010. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/nature08823>.

NATHANSON, Jerry A. **Air pollution control**. Encyclopædia Britannica, 2011. Disponível em: <<https://academic-eb-britannica.ez24.periodicos.capes.gov.br/levels/collegiate/article/air-pollution-control/471033>>. Acesso em: 28 jun. 2018.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA (Brasil). Disponível em: <<http://www.observatoriodoclima.eco.br/>>. Acesso em: 19 set. 2018.

NISHI, Marcos Hiroshi. **O MDL e o atendimento aos critérios de elegibilidade e indicadores de sustentabilidade por diferentes atividades florestais**. 2003. 80 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

NORTH CAROLINA CLIMATE OFFICE. **Composition of atmosphere**. Disponível em: <<https://climate.ncsu.edu/edu/Composition>>. Acesso em: 21 jan. 2019.

NOVAES, Danielle Alves de; SOUZA, Patrícia Sampaio da Silveira. Análise do desenvolvimento sustentável no balanço social da empresa Eletronuclear. **Episteme Transversallis**, [S.l.], v. 12, n. 1, maio 2018. ISSN 2236-2649.

OLIVEIRA, Michele de; RIL, Fernanda Luiza; PERETTI, Camila; CAPELLESSO, Elivane Salete; SAUSEN, Tanise Luisa; BUDKE, Jean Carlos. Biomassa e estoques de carbono em diferentes sistemas florestais no Sul do Brasil. **Perspectiva**, Erechim, v. 40, n. 149, p.09-20, mar. 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Tanise_Sausen/publication/303932606_Biomass_and_carbon_stocks_in_different_forest_systems_in_southern_Brazil/links/575ec92008aec91374b404b7/Biomass-and-carbon-stocks-in-different-forest-systems-in-southern-Brazil.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2020.

ORGANIZAÇÃO SOCIAL ECONOMIA E ENERGIA - e&e (Brasil). **O Balanço de Carbono**. 2007. Disponível em: <http://ecen.com/eee62/eee62p/balanco_de_carbono.htm>. Acesso em: 28 fev. 2019.

PBMC, 2016: Mudanças Climáticas e Cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)]. PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 116p. ISBN: 978-85-285-0344-9.

PIELKE, Roger A. **Atmosphere**. Encyclopædia Britannica, 2015. Disponível em: <<https://academic-eb-britannica.ez24.periodicos.capes.gov.br/levels/collegiate/article/atmosphere/126202>>. Acesso em: 25 jun. 2018.

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. **Classificação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) de Escopo 1 nas respectivas categorias de fontes de emissão – versão 2**. São Paulo: Gvces, 2016. 4 p. Disponível em: <http://mediadrawer.gvces.com.br/ghg/original/ghg-protocol_nota-tecnica_categorias-escopo-1_-v2.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2019.

RIBEIRO, Sabina Cerruto; JACOVINE, Laércio Antônio Gonçalves; SOARES, Carlos Pedro Boechat; MARTINS, Sebastião Venâncio; NARDELLI, Áurea Maria Brandi; SOUZA, Agostinho Lopes de. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma capoeira da Zona da Mata Mineira. **Revista Árvore**, v. 34, n. 3, p.495-504, jun. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622010000300013>.

RIO DE JANEIRO (Estado). Resolução INEA/PRES nº 64, de 12 de dezembro de 2012. Dispõe sobre a apresentação de inventário de emissões de gases de efeito estufa para fins de licenciamento ambiental no Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 18 dez. 12. p. 17-18.

SCRIPPS INSTITUTION OF OCEANOGRAPHY. **The Keeling Curve**. Disponível em: <<https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/>>. Acesso em: 04 out. 2018.

SEEG - SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (Brasil). **Emissões Totais**. 2019. Disponível em: <http://plataforma.seeg.eco.br/total_emission>. Acesso em: 19 mar. 2019.

SILVA, Cleyton Martins da. **Avaliação de gases efeito estufa na cidade do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2012. 131 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

TAJRA, Alex. **Meio Ambiente**: Austrália foi alertada há 13 anos pela ONU sobre aumento de queimadas. 2020. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/redacao/2020/01/12/australia-foi-alertada-ha-mais-de-10-anos-sobre-aumento-de-queimadas.htm>>. Acesso em: 13 jan. 2020.

UGAYA, Cássia Maria Lie; LORA, Electo Eduardo Silva; SILVA, Elmo Rodrigues da; FREIRES, Francisco Gaudêncio Mendonça; LIMA, Gilson Brito Alves; NETO, José Adolfo de Almeida; NETO, Julio Vieira; XAVIER, Lúcia Helena; JUNIOR, Luiz Carlos de Martini;

OLIVEIRA, Luziléa Brito de; MEIRIÑO, Marcelo Jasmim; LEME, Márcio Montagnara Vicente; QUELHAS, Osvaldo Luiz Gonçalves; GOUVINHAS, Reidson Pereira; CÂMARA, Renata Paes de Barros; SILVA, Ricardo Moreira da; BRAGA, Rita de Cássia Silva; MOTTA, Ronaldo Seroa da; MATOS, Rosa Maria Barbosa; CURI, Rosires Catão; FRANÇA, Sergio Luiz Braga; ALMEIDA, Thiago Alexandre das Neves; MATTOS, Ubirajara Aluizio de Oliveira; CURI, Wilson Fadlo. **Gestão Ambiental de Unidades Produtivas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 451 p.

UNFCCC, United Nations Framework Convention On Climate Change. **Convenção sobre Mudança do Clima**. 1992. Editado e traduzido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia com o apoio do Ministério das Relações Exteriores da República Federativa do Brasil. Disponível em: <http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/convencao_clima.pdf>. Acesso em: 10 julho 2018.

UNFCCC, United Nations Framework Convention On Climate Change. **The Clean Development Mechanism**. 2018. Disponível em: <<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-kyoto-protocol/mechanisms-under-the-kyoto-protocol/the-clean-development-mechanism>>. Acesso em: 29 nov. 2018.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Emissions Gap Report 2018: Executive summary**. 2018. Disponível em: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/26879/EGR2018_ESEN.pdf?sequence=10>. Acesso em: 28 ago. 2019.

VIEIRA, Neise Ribeiro. **Poluição do ar: Indicadores Ambientais**. Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais, 2009. 220 p.

WATTS, Nick; ADGER, Neil; AGNOLUCCI, Paolo; BLACKSTOCK, Jason; BYASS, Peter; CAI, Wenjia et al. Health and climate change: policy responses to protect public health. **The Lancet**, [s.l.], v. 386, n. 10006, p.1861-1914, nov. 2015. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736\(15\)60854-6](http://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736(15)60854-6).

WELLE, Deutsche. **Parlamento Europeu declara 'emergência climática'**. 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/natureza/noticia/2019/11/28/parlamento-europeu-declara-emergencia-climatica.ghtml>>. Acesso em: 28 nov. 2019.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2015.

8 APÊNDICES

8.1 RESUMO DAS REUNIÕES DA CONFERÊNCIA DAS PARTES (COP).

COP (Ano)	Cidade	Resumo
COP-1 (1995)	Berlim	Iniciou-se o processo de negociação de metas e prazos específicos para a redução de emissões de gases de efeito estufa pelos países desenvolvidos. Os países em desenvolvimento não foram incluídos na conferência.
COP-2 (1996)	Genebra	Os países participantes decidiram pela criação de obrigações legais de metas de redução de emissões de gases de efeito estufa.
COP-3 (1997)	Kyoto	Surgiu o Protocolo de Quioto, que determinou que os países desenvolvidos passariam a ter metas obrigatórias de redução das emissões, e os países em desenvolvimento teriam metas voluntárias, participando deste mercado por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Assim, de 2008 a 2012 (primeiro período de cumprimento do Protocolo), as nações do Anexo I (países desenvolvidos) deveriam reduzir em torno de 5% suas emissões, comparando com os níveis de 1990. Um segundo período de compromissos foi acordado, de 2013 a 2020, mas países como Estados Unidos, Japão, Canadá, Rússia e as nações em desenvolvimento não se submeteram.
COP-4 (1998)	Buenos Aires	Girou em torno da implementação e ratificação do Protocolo de Quioto. Foi elaborado um programa de metas voltado para a análise de impactos das mudanças climáticas e alternativas de compensação, que deveriam ser colocadas em prática com a adoção de mecanismos de financiamento e transferência de tecnologia.
COP-5 (1999)	Bonn	Destacou a execução das metas estabelecidas na COP anterior e debates sobre a mudança no uso da terra e das florestas, o impacto das atividades humanas, o papel desempenhado pelas florestas e o uso da terra na redução das emissões de gases de estufa.
COP-6, parte I (2000)	Haia	Os mecanismos de flexibilização, como o MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, criado pelo Protocolo de Quioto) foram os temas centrais da conferência.

COP (Ano)	Cidade	Resumo
COP-6, parte II (2001)	Bonn	Foram incluídos os sumidouros para cumprimento de metas de emissão, foram debatidos os limites de emissão para países em desenvolvimento e a sua assistência financeira aos países em desenvolvimento.
COP-7 (2001)	Marrakesh	Foram desenvolvidos os Acordos de Marraquexe que trouxeram a definição dos mecanismos de flexibilização, a decisão de limitar o uso de créditos de carbono gerados de projetos florestais do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e o estabelecimento de fundos de ajuda a países em desenvolvimento voltados a iniciativas de adaptação às mudanças climáticas.
COP-8 (2002)	Nova Délhi	No mesmo ano realizava-se em Durban, África do Sul, a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+10). Iniciava a discussão sobre uso de fontes renováveis na matriz energética dos países que faziam parte da Convenção Quadro do Clima. O encontro também marcou a adesão da iniciativa privada e de organizações não governamentais ao Protocolo de Quioto e apresentou projetos para a criação de mercados de créditos de carbono.
COP-9 (2003)	Milão	A regulamentação de sumidouros de carbono no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo foi o tema central dos debates, estabelecendo regras para a condução de projetos de reflorestamento, que se tornaram condição para a obtenção de créditos de carbono.
COP-10 (2004)	Buenos Aires	Foram aprovadas regras de implementação do Protocolo de Quioto, que entrou em vigor no início do ano seguinte, após a ratificação pela Rússia. Outros temas abordados foram a definição dos Projetos Florestais de Pequena Escala (PFPE) e a divulgação de inventários de emissão de gases do efeito estufa por alguns países em desenvolvimento, entre eles o Brasil.
COP-11 (2005)	Montreal	Ocorreu juntamente com a 1ª Conferência das Partes do Protocolo de Quioto (após a entrada em vigor do protocolo). Sua pauta foi centrada no segundo período do protocolo, após o final da sua vigência (ano de 2012). A questão das emissões provenientes do desmatamento tropical e a das mudanças no uso da terra foram aceitas oficialmente nas discussões no âmbito da Convenção.

COP (Ano)	Cidade	Resumo
COP-12 (2006)	Nairóbi	Teve como principal compromisso a revisão de itens do Protocolo de Quioto, em que as nações participantes se comprometeram a realizar processos internos de revisão. Também, foram estabelecidas regras para o financiamento de projetos de adaptação às mudanças climáticas em países mais desamparados. O governo brasileiro propôs a criação de um mecanismo que promova efetivamente a redução de emissões de gases de efeito estufa originadas a partir de desmatamentos em países em desenvolvimento, o chamado REDD (Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação florestal).
COP 13 (2007)	Bali	Finalizou-se com um “Mapa do Caminho” até 2009, com metas de emissão e, principalmente, a inclusão de florestas no texto da decisão final. Foram estabelecidos compromissos verificáveis para a redução de emissões causadas por desmatamento das florestas tropicais para o acordo que substituirá o Protocolo de Quioto. Os países em desenvolvimento teriam até 2009 para definir as metas de redução de emissões oriundas do desmatamento depois de 2012, quando o Protocolo de Quioto se encerraria. Também foi aprovada a implementação efetiva do Fundo de Adaptação, para que países mais vulneráveis à mudança do clima possam enfrentar seus impactos.
COP-14 (2008)	Poznan	Discutiu um possível acordo climático global, uma vez que na COP-13 foi estabelecido que um novo acordo deveria substituir o Protocolo de Quioto. A conferência deu continuidade às negociações iniciadas com o Mapa do Caminho e foi uma preparação para COP-15. O destaque foi a participação do vice-presidente americano Al Gore (os EUA ficaram de fora do Protocolo de Quioto ao não o ratificar em 2005) e a mudança de posição dos países em desenvolvimento.

COP (Ano)	Cidade	Resumo
COP-15 (2009)	Copenhague	<p>Foi consolidado o tema climático nas agendas pública, corporativa e da sociedade civil. Embora a COP tivesse gerado muitas expectativas, não foi possível fechar um acordo que substituísse o Protocolo de Quioto. O Acordo de Copenhague reconheceu que promover reduções de emissões resultantes de desmatamento e degradação florestal (REDD) era fundamental para mitigar os efeitos das mudanças climáticas. Questões como o impasse que se estabeleceu entre países desenvolvidos e em desenvolvimento sobre metas de redução de emissões ficaram indefinidos. Durante a COP-15 ficou acordada uma meta de limitar ao máximo de 2°C o aumento da temperatura média global, em relação aos níveis pré-industriais.</p>
COP-16 (2010)	Cancun	<p>Diversos acordos foram fechados, entre eles, a criação do Fundo Verde do Clima (uma iniciativa global idealizada para atender às necessidades de mitigação e adaptação ao aquecimento global). Foi reiterada a meta fixada na COP-15 de limitar a um máximo de 2°C a elevação da temperatura média em relação aos níveis pré-industriais. A decisão sobre o futuro do Protocolo de Quioto ficou para a conferência seguinte. Nessa COP, o Brasil lançou sua Comunicação Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa e anunciou a regulamentação da Política Nacional sobre Mudança do Clima, em decreto assinado pelo presidente Luiz Inácio Lula da Silva em 9 de dezembro.</p>
COP-17 (2011)	Durban	<p>Os países integrantes se comprometeram a empreender ações para conter o aumento da temperatura no mundo, limitada em 2°C, e reconheceram a necessidade de minimizar os problemas decorrentes das mudanças climáticas. A Plataforma de Durban, documento que resultou da conferência, estabeleceu que os países deveriam definir metas até 2015 para serem colocadas em prática a partir de 2020. Assim, um novo acordo substituiria o Protocolo de Quioto num prazo de oito anos. Seguindo o Mapa do Caminho, estabelecido em 2007, um acordo finalmente seria adotado em 2015, reunindo grandes emissores de gases de efeito estufa, como Estados Unidos e a China. As discussões em torno de transferência de tecnologia e financiamento para que os países menos desenvolvidos consigam fazer frente às mudanças climáticas globais ainda continuaram.</p>

COP (Ano)	Cidade	Resumo
COP-18 (2012)	Doha	As negociações se encerraram com um acordo fechado às pressas de combate ao aquecimento global até 2020. Questões como a segunda fase do Protocolo de Quioto e o auxílio financeiro aos países mais desfavorecidos para adaptação e mitigação em função do aquecimento global ficaram de fora.
COP-19 (2013)	Varsóvia	O desafio dessa conferência foi antecipar questões e debates a serem levados para a COP-21, para assim, resultar um documento de redução de emissões para substituir o Protocolo de Quioto.
COP-20 (2014)	Lima	Tinha como objetivo definir as bases para um novo acordo geral sobre o clima a ser aprovado na COP-21, em Paris. O documento final intitulado Chamamento de Lima para a Ação sobre o Clima, traz os elementos básicos para o novo acordo global. O documento define os parâmetros mínimos para a apresentação das Contribuições Intencionais Nacionalmente Determinadas (INDCs, sigla em inglês para <i>Intended National Determinate Contributions</i>) para mitigação e adaptação, a serem propostas pelas partes e que servem também de base para o acordo de Paris. Outros temas como financiamento, transferência de tecnologia, capacitação e transparência para ações estavam incluídos.
COP-21 (2015)	Paris	Foi ratificado o Acordo de Paris, tendo como um dos seus objetivos, manter o aquecimento global abaixo de 2°C, buscando ainda esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais. Fica determinado que os países desenvolvidos deverão investir 100 (cem) bilhões de dólares por ano em medidas de combate à mudança do clima e adaptação em países em desenvolvimento.
COP-22 (2016)	Marrakesh	Buscou regulamentar os detalhes sobre o Acordo de Paris. Diferente da COP-21, que teve um caráter político, este encontro teve sua natureza mais técnica, tendo por objetivo definir a agenda de trabalho.
COP-23 (2017)	Bonn	Foram aprovados diversos elementos para a construção do livro de regras que permitirá a implementação efetiva do Acordo de Paris sobre mudanças climáticas. A conferência foi bem-sucedida em evitar que os impasses entre países desenvolvidos e em desenvolvimento produzisse retrocessos na negociação internacional.

COP (Ano)	Cidade	Resumo
COP-24 (2018)	Katowice	O principal objetivo desta reunião era definir o livro de regras do Acordo de Paris, aprovado em 2015 por 195 países, a ser adotado a partir de 2020. Os países desenvolvidos concordaram em aumentar o valor gasto com as iniciativas para o clima, com o propósito de oferecer maior segurança aos países mais vulneráveis.
COP-25 (2019)	Madri	A conferência precisou ser transportada para a Europa após a recusa do Brasil em sediar a reunião e a convulsão social no Chile. Sediada em Madri, teve grande participação de movimentos de jovens e cidadãos. Falhou em seu objetivo de trazer a urgência da crise climática para dentro da implementação do Acordo de Paris. A decisão sobre mercados de carbono, tema central da Conferência, foi adiada para a COP 26.

8.2 RESUMO DA MATÉRIA LEGISLATIVA BRASILEIRA FEDERAL E ESTADUAL REFERENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.

Legislação	Caput
Decreto Nº 2.652, de 1º de julho de 1998	Promulga a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, assinada em Nova York, em 9 de maio de 1992.
Decreto de 7 de julho de 1999	Cria a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima, com a finalidade de articular as ações de governo nessa área.
Decreto Legislativo Nº 144, de 2002	Aprova o texto do Protocolo de Quioto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, aberto a assinaturas na cidade de Quioto, Japão, em 14 de dezembro de 1997, por ocasião da Terceira Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.
Decreto Nº 5.445, de 12 de maio de 2005	Promulga o Protocolo de Quioto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, aberto a assinaturas na cidade de Quioto, Japão, em 11 de dezembro de 1997, por ocasião da Terceira Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.
Decreto Nº 9.519, de 18 de agosto de 2005	Institui o Fórum Baiano de Mudanças Climáticas Globais e de Biodiversidade e dá outras providências.
Decreto Nº 49.369, de 11 de fevereiro de 2005	Institui o Fórum Paulista de Mudanças Climáticas Globais e de Biodiversidade.
Decreto Nº 1833-R, de 19 de abril de 2007	Institui o Fórum Capixaba de Mudanças Climáticas Globais, do Uso Racional da Água e da Biodiversidade – FCMC.
Decreto Nº 3.007, de 18 de abril de 2007	Cria o Fórum Estadual de Mudanças Climáticas e de Biodiversidade do Estado de Tocantins.
Decreto Nº 6.263, de 21 de novembro de 2007	Institui o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima - CIM, orienta a elaboração do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, e dá outras providências.

Legislação	Caput
Decreto Nº 10.256, de 22 de fevereiro de 2007	Altera dispositivos do Decreto nº 9.519, de 18 de agosto de 2005, que instituiu o Fórum Baiano de Mudanças Climáticas Globais e de Biodiversidade.
Decreto Nº 12.613, de 4 de junho de 2007	Cria o Fórum Estadual de Mudanças Climáticas e Combate à pobreza do Estado do Piauí, e dá outras providências.
Decreto Nº 26.581, de 25 de abril de 2007	Estabelece critérios para o estabelecimento de política estadual voluntária do Estado do Amazonas de mudanças climáticas, conservação da floresta, eco-economia e de neutralização das emissões de gases causadores do efeito estufa, e estabelece outras providências.
Decreto Nº 40.780, de 23 de maio de 2007	Institui o Fórum Rio de Mudanças Climáticas Globais que fornecerá suporte à implementação da Política Estadual do Rio de Janeiro de Mudanças Climáticas e dá outras providências.
Decreto Nº 44.543, de 13 de junho de 2007	Altera o Decreto Nº 44.042, de 9 de junho de 2005, que institui o Fórum Mineiro de Mudanças Climáticas.
Decreto Nº 45.098, de 15 de junho de 2007	Cria o Fórum Gaúcho de Mudanças Climáticas e dá outras providências.
Lei Ordinária Nº 3.184, de 13 de novembro de 2007	Altera, na forma que especifica, a Lei Nº 3.135, de 05 de junho de 2007 (Institui a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, Conservação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Amazonas, e estabelece outras providências) e dá outras providências.
Portaria MCT Nº 728, de 20 de novembro de 2007	Institui a Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais – REDECLIMA.
Lei Nº 1.917, de 17 de abril de 2008	Institui a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, Conservação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Tocantins, e adota outras providências.

Legislação	<i>Caput</i>
Lei Nº 8.797, De 11 de janeiro de 2008	Dispõe sobre a obrigatoriedade da execução de filme publicitário com mensagens cívicas sobre as consequências do aquecimento global e a importância da defesa do meio ambiente em todas as sessões de cinema exibidas no Estado do Espírito Santo.
Lei nº 16.019, de 19 de dezembro de 2008	Institui o Fórum Paranaense de Mudanças Climáticas Globais, com os objetivos que especifica e adota outras providências.
Decreto Nº 29.272, de 25 de abril de 2008	Institui o Fórum Cearense de Mudanças Climáticas e de Biodiversidade e dá outras providências.
Decreto Nº 31.507, de 14 de março de 2008	Institui o Comitê Estadual de Enfrentamento das Mudanças Climáticas Pernambucano (CEEM) e dá outras providências.
Decreto Nº 41.318, de 26 de maio de 2008	Dispõe sobre mecanismo de compensação energética de térmicas a combustíveis fósseis a serem instaladas no Estado do Rio de Janeiro e dá outras providências.
Decreto Nº 1.900, de 22 de setembro de 2009	Institui o Fórum Paraense de Mudanças Climáticas e dá outras providências.
Decreto Nº 28.390, de 17 de fevereiro de 2009	Decreto que institui o Fórum Amazonense de Mudanças Climáticas Globais, Biodiversidade e Serviços Ambientais e dá outras providências.
Decreto Nº 33.015, de 16 de fevereiro de 2009	Institui o Fórum Pernambucano de Mudanças Climáticas, e dá outras providências.
Decreto Nº 45.229, de 3 de dezembro de 2009	Regulamenta medidas do Poder Público do Estado de Minas Gerais referentes ao combate às mudanças climáticas e gestão de emissões de gases de efeito estufa e dá outras providências.

Legislação	Caput
Lei Nº 9.111, de 15 de abril de 2009	Institui o Fórum Matogrossense de Mudanças Climáticas e dá outras providências.
Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009	Cria o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, altera os arts. 6º e 50 da Lei no 9.478, de 6 de agosto de 1997, e dá outras providências.
Lei Nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009	Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências.
Lei Nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009	Cria o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, altera os arts. 6º e 50 da Lei no 9.478, de 6 de agosto de 1997, e dá outras providências.
Lei Nº 13.798, de 9 de novembro de 2009	Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas, no âmbito do Território do Estado de São Paulo.
Lei Nº 14.829, de 11 de agosto de 2009	Institui a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina, e adota outras providências.
Lei Nº 16.497, de 10 de fevereiro de 2009	Institui a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas do estado de Goiás.
Lei Nº 16.611, de 25 de junho de 2009	Dispõe sobre a Política Estadual de Goiás de Conscientização sobre os Efeitos do Aquecimento Global.
Lei Nº 2.308, de 22 de outubro de 2010	Cria o Sistema Estadual de Incentivos a Serviços Ambientais – SISA, o Programa de Incentivos por Serviços Ambientais – ISA Carbono e demais Programas de Serviços Ambientais e Produtos Ecosistêmicos do Estado do Acre e dá outras providências.
Decreto Nº 3.273, de 21 de maio de 2010	Institui o Fórum Catarinense de Mudanças Climáticas Globais e estabelece outras providências.

Legislação	<i>Caput</i>
Decreto Nº 55.947, de 24 de junho de 2010	Regulamenta a Lei Nº 13.798, de 9 de novembro de 2009, que dispõe sobre a Política Estadual de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo.
Lei Nº 1.491, de 27 de maio de 2010	Estabelece a política de redução e compensação de emissões de dióxido de carbono CO ₂ do Estado de Macapá, incentiva a utilização de biocombustíveis que contribuam para a amenização do aquecimento global e melhoria da qualidade do ar e dá outras providências.
Lei Nº 2.308, de 22 de outubro de 2010	Cria o Sistema Estadual de Incentivos a Serviços Ambientais – SISA, o Programa de Incentivos por Serviços Ambientais – ISA Carbono e demais Programas de Serviços Ambientais e Produtos Ecosistêmicos do Estado do Acre e dá outras providências.
Lei Nº 5.690, de 14 de abril de 2010	Institui a Política Estadual do Rio de Janeiro sobre Mudança Global do Clima e Desenvolvimento Sustentável e dá outras providências.
Lei Nº 9.531, de 15 de setembro de 2010	Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas do Espírito Santo – PEMC, contendo seus objetivos, princípios e instrumentos de aplicação.
Lei Nº 13.594, de 30 de dezembro de 2010	Institui a Política Gaúcha sobre Mudanças Climáticas – PGMC -, fixando seus objetivos, princípios, diretrizes e instrumentos e dá outras providências.
Lei Nº 14.090, de 17 de junho de 2010	Institui a Política Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas de Pernambuco, e dá outras providências.
Decreto Nº 16.232, de 4 de outubro de 2011	Institui o Fórum de Mudanças Climáticas, Biodiversidade e Serviços Ambientais de Rondônia.
Decreto Nº 43.216, de 30 de setembro de 2011	Regulamenta a Lei Nº 5.690 de 14 de abril de 2010, que dispõe sobre a Política Estadual sobre Mudança Global do Clima e Desenvolvimento Sustentável do Estado do Rio de Janeiro.

Legislação	Caput
Lei Nº 6.140, de 6 de dezembro de 2011	Institui a Política Estadual sobre Mudança do Clima e Combate à Pobreza do Estado do Piauí e dá outras providências.
Lei Nº 9.336, de 31 de fevereiro de 2011	Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas, no âmbito do Território do Estado do Paraíba.
Lei Nº 12.050, de 7 de janeiro de 2011	Institui a Política sobre Mudança do Clima do Estado da Bahia, e dá outras providências.
Lei Nº 12.533, de 2 de dezembro de 2011	Institui o Dia Nacional de Conscientização sobre as Mudanças Climáticas.
Resolução INEA Nº 43, de 16 de novembro de 2011	Dispõe sobre a apresentação de questionário declaratório de gases de efeito estufa para fins de licenciamento ambiental no Estado do Rio de Janeiro.
Decisão de Diretoria nº 254, de 22 de agosto de 2012	Dispõe sobre os critérios para a elaboração do inventário de emissões de gases de efeito estufa no Estado de São Paulo e dá outras providências.
Lei Nº 4.797, de 6 de março de 2012	Lei que estabelece princípios, diretrizes, objetivos, metas e estratégias para a Política de Mudança Climática no âmbito do Distrito Federal.
Lei Nº 17.133, de 25 de abril de 2012	Institui a Política Estadual sobre Mudança do Clima do estado do Paraná.
Resolução INEA/PRES Nº 64, de 12 de dezembro de 2012	Dispõe sobre a apresentação de Inventário de Emissões de gases de efeito estufa para fins de licenciamento ambiental no Estado do Rio de Janeiro.
Resolução INEA/PRES Nº 65, de 14 de dezembro de 2012	Dispõe sobre a apresentação de Plano de mitigação de emissões de Gases de efeito estufa para fins de Licenciamento ambiental no estado do Rio de Janeiro.

Legislação	<i>Caput</i>
Decreto Nº 7.520, de 4 de março de 2013	Aprova o Regulamento do Fórum Paranaense de Mudanças Climáticas Globais, instituído pela Lei Nº 16.019, de 19 de dezembro de 2008 e dá outras providências.
Lei Nº 9.878, de 7 de janeiro de 2013	Cria o Sistema Estadual de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal, Conservação, Manejo Florestal Sustentável e Aumento dos Estoques de Carbono Florestal – REDD+ no Estado de Mato Grosso e dá outras providências.
Decreto Nº 4.6674, de 17 de dezembro de 2014	Altera o decreto nº 45.229, de 3 de dezembro de 2009, que regulamenta medidas do poder público do Estado de Minas Gerais referentes ao combate às mudanças climáticas e gestão de emissões de gases de efeito estufa e dá outras providências.
Lei Nº 4.555, de 15 de julho de 2014	Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas - PEMC, no âmbito do Território do Estado de Mato Grosso do Sul e dá outras providências.
Lei Nº 13.033, de 24 de setembro de 2014.	Dispõe sobre a adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel comercializado com o consumidor final; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 8.723, de 28 de outubro de 1993; revoga dispositivos da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005; e dá outras providências.
Resolução SEMA Nº 58, de 22 de dezembro de 2014	Dispõe sobre a implementação do Registro Público Estadual do Paraná de Emissões de Gases de Efeito Estufa, estabelecendo procedimentos e critérios a serem adotados para: Protocolo de Intenções, Declaração de Emissões, Inventário de emissões e outorga dos selos de reconhecimento público.
Lei Nº 4.266, de 1 de dezembro de 2015	Institui a Política do Estado do Amazonas de Serviços Ambientais e o Sistema de Gestão dos Serviços Ambientais, cria o Fundo Estadual de Mudanças Climáticas, Conservação Ambiental e Serviços Ambientais, altera as Leis Estaduais n. 3.135/2007 e 3.184/2007, e dá outras providências.
Portaria Nº 150, de 10 de maio de 2016	Institui o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima e dá outras providências.

Legislação	<i>Caput</i>
Decreto Nº 9.073, de 5 de junho de 2017	Promulga o Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, celebrado em Paris, em 12 de dezembro de 2015, e firmado em Nova Iorque, em 22 de abril de 2016.
Decreto Nº 9.082, de 26 de junho de 2017	Institui o Fórum Brasileiro de Mudança do Clima.
Decreto Nº 9.172, de 17 de outubro de 2017	Institui o Sistema de Registro Nacional de Emissões - Sirene, dispõe sobre os instrumentos da Política Nacional sobre Mudança do Clima a que se refere o inciso XIII do caput do art. 6º da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, e altera o Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010, que regulamenta a referida Política.
Decreto Nº 9.578, de 22 de novembro de 2018	Consolida atos normativos editados pelo Poder Executivo Federal que dispõem sobre o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, de que trata a Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009, e a Política Nacional sobre Mudança do Clima, de que trata a Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009.
Portaria Nº 373, de 19 de setembro de 2018	Institui procedimento para sistematização e aferição das informações sobre as áreas autorizadas de supressão vegetativa de acordo com a Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil ao Acordo de Paris.
Decreto Nº 9.888, de 27 de junho de 2019	Dispõe sobre a definição das metas compulsórias anuais de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa para a comercialização de combustíveis de que trata a Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017, e institui o Comitê da Política Nacional de Biocombustíveis - Comitê RenovaBio.
Decreto Nº 10.144, de 28 de novembro de 2019	Institui a Comissão Nacional para Redução das Emissões de Gases de Efeito Estufa Provenientes do Desmatamento e da Degradação Florestal, Conservação dos Estoques de Carbono Florestal, Manejo Sustentável de Florestas e Aumento de Estoques de Carbono Florestal - REDD+.