Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Faculdade de Engenharia

Rafael da Silva Caldeira

PROPOSTA DE PLANO DE MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA INDÚSTRIA GRÁFICA

Rio de Janeiro
2020

Rafael da Silva Caldeira

PROPOSTA DE PLANO DE MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA INDÚSTRIA GRÁFICAS

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Orientadora: Profª. Dsc. Simone Lorena Quiterio de Souza

Rio de Janeiro –RJ

2020

CATALOGAÇÃO NA FONTE

UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

C146 Caldeira, Rafael da Silva.
Proposta de plano de mitigação das emissões de gases de efeito estufa na indústria gráfica / Rafael da Silva Caldeira. – 2020.
172f.

Orientadora: Simone Lorena Quiterio de Souza.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. Ar - Poluição - Teses. 3. Redução de gases do efeito estufa - Teses. 4. Indústria gráfica - Teses. 5. Poluição industrial - Teses. I. Souza, Simone Lorena Quitério de. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. III. Título.

CDU 628.5

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Rio de Janeiro 10 de Agosto 2020

Data

Rafael da Silva Caldeira

PROPOSTA DE PLANO DE MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA INDÚSTRIA GRÁFICA

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Aprovado em 05 de março de 2020.

Banca Examinadora:

_____

Prof.ª. Dsc. Simone Lorena Quiterio de Souza (Orientadora)

Faculdade de Engenharia – UERJ

_____

Prof. Dsc. Eduardo Monteiro Martins

Faculdade de Engenharia – UERJ

_____

Dsc. Josiane Loyola da Silva

Instituto de Química – UFRJ

Rio de Janeiro
2020

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a minha esposa Maria Carolina.

AGRADECIMENTOS

Graças à Deus e a vida. Aos familiares, especialmente a minha mãe Neide que me criou e me conduziu à educação.

A minha companheira Maria Carolina pelo apoio nos momentos de dedicação ao mestrado. A prima de Carol e minha amiga Cristiane Magalhães.

A Sabrina e Renata responsáveis das empresas gráficas por disponibilizarem o acesso de dados para realização dos estudos de caso pesquisa.

A minha professora orientadora Simone Lorena, por toda atenção recebida no presente trabalho pelo incentivo positivo no avanço da pesquisa.

Ao professor Eduardo Martins por todas contribuições ao longo do mestrado. Agradeço às professoras Lilian Bechara Elabras Veiga e Josiane Loyola da Silva por te aceitado participar da banca e pela contribuição.

Aos amigos Jorge Chastinet, Raimundo Junior e Felipe Catorza, Diogo Rosa e Flavio Giro.

Aos colegas e professores do PEAMB UERJ meus votos de estima e consideração.

(...) Foi que vi pela primeira vez
As tais fotografias
Em que apareces inteira
Porém lá não estavas nua
E sim coberta de nuvens...
Terra! Terra!
Por mais distante
O errante navegante
Quem jamais te esqueceria?...
Terra - Caetano Veloso (1984).

RESUMO

CALDEIRA, R.S. *Proposta de plano de mitigação das emissões de gases de efeito estufa na indústria gráfica*. 172f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

Na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (*UNFCCC*) em Paris, no ano de 2015, foi firmado um acordo entre as nações para que o aquecimento global não ultrapasse os 1,5 ºC, requerendo assim a participação de todos os setores da economia na busca de soluções para reduzir as emissões antropogênicas de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. Acredita-se que a gestão ambiental tenha os subsídios para contribuir na redução das fontes de emissões sob o viés da oportunidade de melhoria. O trabalho propõe o plano de mitigação das emissões de GEE, no setor industrial gráfico, considerando as oportunidades na escolha por fontes com menores fatores de emissões tais como: consumo de energia renováveis, melhor forma de disposição e tratamento de resíduos industriais. A obtenção dos cenários de mitigação das emissões de GEE foi possível através de inventários de emissões do triênio de 2016, 2017 e 2018 em duas indústrias gráficas, considerando os gases CO_2, CH_4, N_2O e HFC, expressos em toneladas de CO_2equivalente. Os cálculos das emissões atmosféricas de GEE seguiram as diretrizes do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*IPCC*), Programa *GHG Protocol* e da Norma ISO 14064:2007. O Plano de Mitigação proposto resultou numa estimativa de redução de 50 % das emissões na indústria gráfica A e de 49,5 % na gráfica B. Foi observada a viabilidade do plano de mitigação com resultados ambientais positivos que também podem ser aplicadas em outras atividades e espera-se desse trabalho a contribuição no engajamento técnico-cientifico da causa climática, no combate ao aquecimento global, no incentivo a uma economia de baixo carbono e menos poluente.

Palavras Chaves: *GHG Protocol*; emissões de gases de efeito estufa; mitigação; indústria; aquecimento global.

ABSTRACT

CALDEIRA, R.S. Proposed plan to mitigate greenhouse gas emissions in the printing industry. 172f. Dissertation (master's in environmental engineering) - Faculty of Engineering, State University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

At the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) in Paris, 2015, the agreement between nations for global warming not to exceed 1.5 ºC, requires the participation of all sectors of the economy in the search for solutions to reduce anthropogenic greenhouse gas (GHG) emissions into the atmosphere. It is believed that environmental management has the subsidies to contribute to the reduction of sources of emissions under the bias of the opportunity for improvement. The work proposes a plan to mitigate GHG emissions, in the graphic industrial sector, considering the opportunities in choosing sources with lower emission factors such as: the consumption of renewable energy, in the best form of disposal and treatment of industrial waste. Obtaining GHG emission mitigation scenarios was made possible through emission inventories for the 2016, 2017 and 2018 three years in two graphic industries, considering CO_2, CH_4, N_2O and HFC gases, expressed in tons of CO_2 equivalent. The calculations of atmospheric GHG emissions followed the guidelines of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the GHG Protocol Program and the ISO 14064:2007 Standard. The proposed Mitigation Plan resulted in an estimated reduction of 50 % of emissions in the printing industry A and 49.5% in printing B. The feasibility of the Mitigation Plan was observed with positive environmental results that can also be applied in other activities and this work is expected to contribute to the technical-scientific engagement of the climate cause, in the fight against global warming, to encourage a low carbon and less polluting economy.

Keywords: GHG Protocol; greenhouse gas emissions; mitigation; industry; global warming

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição dos Gases Atmosféricos. 32
Tabela 2 Valores de GWP para os principais GEE. 59
Tabela 3: Emissões de GEE reportadas por escopo de algumas atividades econômicas no Brasil referente ao ano de 2017 e publicadas no Programa GHG *Protocol* da FGV. 67
Tabela 4: Participação dos Segmentos na Indústria Gráfica Brasileira. 72
Tabela 5 Alguns dos principais Aspectos e Impactos Ambientais Relacionados as emissões de GEE na Indústria Gráfica. 74
Tabela 6: Relação qualitativa de resíduos sólidos e formas de tratamento no setor gráfico. 75
Tabela 7: Levantamento de Fontes e Categorias de GEE do estudo de caso. 85
Tabela 8: Fatores de Emissão da Gasolina Brasileira kg GEE Litro^{-1} 87
Tabela 9: Fatores de Emissão do óleo Diesel Comercial Brasileiro 88
Tabela 10: Coleta de dados de consumo de óleo Diesel e Gasolina para o cálculo das emissões diretas por combustão móveis na indústria gráfica A. 90
Tabela 11: Coleta de dados de consumo de óleo Diesel e Gasolina para o cálculo das emissões diretas por combustão móveis na indústria gráfica B. 91
Tabela 12: Fatores de Emissões de CO2 do consumo de energia elétrica do SIN Brasil - triênio de 2016 a 2018. 95
Tabela 13: Estimativa de consumo de diesel em função da quilometragem referente ao transporte de resíduos, considerando 1 (uma) viagem. 99
Tabela 14 Parâmetros para quantificação das emissões de GEE geradas pela atividade de incineração de resíduos industriais. 100
Tabela 15 Quantidade de Resíduos em Toneladas Destinados para Aterro por ano. 102
Tabela 16: Composição de Resíduos Classe II destinados para o Aterro (Dados *default*). 102
Tabela 17:Parâmetros para quantificação das emissões de GEE para decomposição de resíduos em Aterro Sanitários. 103

Tabela 18: Emissões de GEE em Toneladas (t) provenientes de Fontes Móveis (consumo de diesel) por ano para as Gráficas A e B no referido triênio de estudo.108
Tabela 19: Emissões de GEE em Toneladas (t) provenientes de Fontes Combustão Móvel (consumo de gasolina) por ano para as Gráficas A e B série histórica. 109
Tabela 20: Emissões de HFC-22 Expressos toneladas métricas de CO2 equivalente por ano nas Gráficas A e B para o triênio 2016 a 2018.....110
Tabela 21: Emissões em $tCO2eq.ano^{-1}$ Escopo 2 Consumo de Energia Elétrica fornecida pelo SIN.....111
Tabela 22: Resultados das Emissões de GEE - Escopo 3 *Upstream* Categoria 4 Transporte e Distribuição - Transporte de Resíduos Classe IIA por terceiros.....114
Tabela 23 Resultados das Emissões de GEE Escopo 3 *Upstream* Categoria 4 Transporte e Distribuição – Fonte Transporte de Resíduos Classe I para Incineração. 115
Tabela 24 Resultados das Emissões de GEE Escopo 3 *Upstream* Categoria 5 Resíduos gerados nas operações por ano - Fonte Tratamento de Resíduos Classe IIA.....116
Tabela 25 Resultados das Emissões de GEE Escopo 3 *Upstream* Categoria 5 Resíduos gerados nas operações por ano - Fonte Tratamento de Resíduos Classe I para Incineração.....117
Tabela 26: Emissões em Totais de GEE em tCO_2eq. Gráfica A. 120
Tabela 27: Tabela Emissões em Totais de GEE em tCO_2eq. Gráfica B. 122
Tabela 28: Resultados das Emissões de GEE estimadas a partir do Plano de Mitigação por tratamento de resíduos na Industria Gráfica A.....126
Tabela 29: Resultados das Emissões de GEE estimadas a partir do Plano de Mitigação na Industria Gráfica B.....127
Tabela 30 Emissões Calculadas a partir do Plano de Mitigação para Cenário de Mitigação I Substuição de 30% da Gasolina por Etanol na Gráfica A. 130
Tabela 31: Emissões Calculadas a partir do Plano de Mitigação para Cenário de Mitigação I Substuição de 30 % da Gasolina por Etanol na Gráfica B. 131
Tabela 32: Cronograma Nacional para evolução de percentuais mínimos de adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final.....132

Tabela 33 Emissões em toneladas métricas de GEE considerando os resultados do Plano de Mitigação com base na redução de consumo de Diesel em aumento pela alternativa de Biodiesel. Gráfica A. 133
Tabela 34: Emissões em toneladas métricas de GEE considerando os resultados do Plano de Mitigação com base na redução de consumo de Diesel em aumento pela alternativa de Biodiesel. Gráfica B 134
Tabela 35 Resultados da revisão das emissões de GEE em sistemas fotovoltaicos de poli -Si. 138
Tabela 36: Resultados e Quadro comparativo para emissões de GEE a partir do plano de mitigação com o uso da energia fotovoltaica em substituição da eletricidade do SIN. 139
Tabela 37: Resultado do percentual de emissões evitadas mediante o plano de mitigação na indústria Gráfica A.....140
Tabela 38: Resultado do percentual de Emissões Evitadas mediante o plano de mitigação na indústria Gráfica B.....141

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Regiões da Atmosfera subdividas em parâmetros de temperatura (ºC), pressão (mb) e altitude (km).....30
Figura 2: Curva de Keelling - Curva de Concentrações (ppm) Anuais de Dióxido de Carbono na Atmosfera - em escala de anos de 1960 a 2020. 42
Figura 3: Variação da concentração do gás CO2 e do pH na Superfície dos Oceanos Atlântico e Pacífico. 44
Figura 4: Média global combinada da anomalia da temperatura da superfície do oceano e da terra observada 1850–2012. 45
Figura 5: Modelos do IPCC em respostas da variação da temperatura frente ao aquecimento global para cenários estimados de mitigação das emissões de GEE. .46
Figura 6: Participação de emissões de GgCO2 equivalente por setores: Agropecuária, Energia, Processos Industriais, Tratamento de Resíduos, Uso da Terra, Mudanças do Uso da Terra e Florestas. Inventário Nacional ano 2015 Brasil. 63
Figura 7: Série Histórica das Emissões de GEE(Gg) no setor industrial entre 1990 a 2015 no Brasil. 64
Figura 8: Série histórica das Emissões de GEE (Gg) no setor de Tratamento de Resíduos entre 1990 a 2015 no Brasil. 65
Figura 9: Série histórica das emissões de GEE (Gg) entre 1990 a 2015 Consumo de Energia no Brasil. 66
Figura 10: Perfil das Empresas da Industria Gráfica Brasileira em 2018. 71
Figura 11: Percentual de Contribuição de trabalhos e fontes de informações na pesquisa. 79
Figura 12: Etapas para a elaboração do inventário de emissões de gases de efeito estufa. 80
Figura 13: Mapa de localização da gráfica A. Delimitação das unidades operacionais. 82
Figura 14: Mapa de localização da gráfica B. Delimitação das unidades operacionais. 83
Figura 15: Correlação entre consumo de gasolina e emissões de t CO_2 eq. por fontes de combustão móvel. 89

Figura 16: Correlação entre consumo de diesel em 2016 e 2017 e emissões de tCO_2 eq por fontes de combustão móvel. 89
Figura 17: Correlação entre consumo de diesel em 2018 e emissões de tCO_2 eq por fontes de combustão móvel.....90
Figura 18: Correlação para cálculo da emissão de HFC 22 em expressos em t CO_2eq. 93
Figura 19: Perfil de consumo mensal de energia elétrica kWh Gráfica A. Período de 2016, 2017 e 2018. 97
Figura 20: Perfil de consumo mensal de energia elétrica kWh Gráfica B. Período de 2016, 2017 e 2018. 97
Figura 21: Emissões em toneladas métricas de CO2 equivalente Escopo 1 por ano Fontes Móveis Gráfica A e B - Triênio 2016 a 2018.....108
Figura 22: Emissões indiretas de GEE em tCO2eq ano^{-1} pelo consumo de Energia Elétrica do SIN na Gráfica A.....111
Figura 23: Emissões indiretas de GEE em tCO2eq ano^{-1} pelo consumo de Energia Elétrica do SIN na Gráfica B.....112
Figura 24: Serie temporal de 2003 a 2019 da Produção Física no Brasil da Industria de Transformação e da Indústria Gráfica. 113
Figura 25: Resultados das Emissões Totais em tCO2eq. na série histórica de 2016, 2017 e 2018 e Média do Triênio.....118
Figura 26: Percentual de Contribuição das fontes de emissões de GEE em tCO2 equivalente por ano considerando a média aritmética do triênio 2016, 2017 e 2018 da Gráfica A (médio porte). 119
Figura 27: Emissões totais de GEE da "Gráfica B" de 2016 a 2018 e média do triênio. 121
Figura 28: Percentual de Contribuição das fontes de emissões de GEE em tCO_2 equivalente por ano considerando a média do triênio 2016, 2017 e 2018 da Gráfica B (pequeno porte).....122
Figura 29: Diagrama da Proposta Plano de Mitigação das Emissões de Gases de Efeito Estufa para as duas empresas Gráficas no estudo de caso. 123
Figura 30: Emissões toneladas métricas de GEE do Tratamento de Resíduos Classe IIA na Industria Gráfica A partir do Plano de Mitigação.....126

Figura 31: Cenário de Reduções das Emissões de GEE em tCO2eq na Gráfica B a partir do Plano de Mitigação para Escopo 3 Tratamento de Resíduos Não Perigosos. 127
Figura 32:Emissões de GEE em toneladas de CO2eq calculadas a partir do Plano de Mitigação para Cenário de Mitigação I Substituição de 30 % da Gasolina por Etanol na Gráfica A. 131
Figura 33: Emissões de GEE em toneladas de CO2eq calculadas a partir do Plano de Mitigação para Cenário de Mitigação I Substituição de 30 % da Gasolina por Etanol na Gráfica B. 132
Figura 34: Cenário de Reduções das Emissões de GEE em tCO2eq na Gráfica A a partir do Plano de Mitigação para o Escopo 1 fonte de combustão móvel no consumo de Diesel e Biodiesel. 134
Figura 35: Reduções das Emissões diretas de GEE proveniente da fonte de combustão móvel com foco no consumo de Diesel e Biodiesel na Gráfica B, considerando o Plano de Mitigação e o ano base a média do triênio. 135
Figura 36: Série história de 2016 a 2025, das Emissões de GEE totais para fonte combustão móvel escopo 1 e resultados dos planos de mitigação. 136

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIGRAF	Associação Brasileira da Indústria Gráfica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Análise do Ciclo de Vida
ANP	Agência Nacional do Petróleo
B10	Diesel com 10% de Biodiesel
B100	Diesel de composição de 100% de biodiesel
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNI	Conselho Nacional da Indústria
CNPE	Conselho Nacional de Pesquisas Energéticas
COP21	21 ª Conferência das Partes. A Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças, também chamada de Acordo de Paris.
COP15	15 ª Conferência das Partes. A Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças, também chamada Conferência de Copenhague.
tCO_{2eq}	Toneladas de dioxido de carbono equivalente
EPA	Agência Americana de Proteção Ambiental
MCF	Fator de correção de metano
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente
FGV	Fundação Getúlio Vargas
DOC	Fração de Carbono Orgânico
GEE	Gases de efeito estufa
Gg	giga grama
GRI	*Global Report Initiative*
GWP	Potencial de Aquecimento Global (*em inglês Global Warming Potential)*
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatista
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

ISO	Organização Internacional de Normalização *(em inglês International Organization for Standardization)*
IV	Infravermelho
km	Quilometro
kPa	quilo Pascal
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MTRs	Manifesto de Transporte de Resíduos
MWh^{-1}	Mega Watts por hora
NDC	Contribuição Nacionalmente Determinada
nm	nanómetro
NOAA	Administração Nacional Oceânica e Atmosférica *(*em inglês *National Oceanic and Atmospheric Administration)*
ºC	Graus Celsius
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU	Organizações das Nações Unidas
pH	potencial hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
PNMC	Política Nacional de Mudanças Climáticas
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP - *United Nations Environment Programme*)
ppb	Parte por bilhão
ppm	Parte por milhão
RF	Forçante Radiativa
SIN	Sistema Interligado Nacional
SIRENE	Sistema de Registro Nacional de Emissões
tCO_2eq	Toneladas de dióxido de carbono equivalente
t	toneladas
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima
UV	Ultravioleta

H_2O_v	Vapor d'água
W m^{-2}	Watts por metro quadrado
WBCSD	Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável.
WCED	Comissão Mundial das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento.
WRI	*World Resources Institute.*
WWF	World Resources Institute - Fundo Mundial para Natureza.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 22

OBJETIVOS 27

Objetivo Geral 27

Objetivos Específicos 27

1. REFERENCIAL TEÓRICO 28

1.1. Intensificação das emissões de gases de efeito estufa, aquecimento global e seus efeitos aos ecossistemas e a saúde 28

1.1.1 A Atmosfera, o “Oceano Aéreo” 28

1.1.2 Formação do Efeito Estufa 33

1.1.3 Forçamento Radiativo e a Intensificação do Efeito Estufa 37

1.1.4 Impactos Ambientais do Aquecimento Global 39

1.2. Política Internacional e Nacional sobre mudanças climáticas e mitigação das emissões de gases de efeito estufa 50

1.3. Inventários de Gases de Efeito Estufa, Normas, Fundamentos e Aplicações 57

1.4. Perfil do setor da indústria gráfica brasileira, aspectos ambientais, operacionais e econômicos. 70

2. METODOLOGIA. 78

2.1. Definição do Estudo de Caso. 81

2.2. Ferramentas de Cálculos de Emissões de Gases de Efeito Estufa - Inventários de GEE. 83

2.2.1 Cálculo das Emissões do Escopo 1, por consumo de combustíveis e emissões de fontes móveis de frota própria. 86

2.2.2 Cálculo das Emissões de Escopo 1, por consumo de gás refrigerante HFCs e emissões fugitivas. 91

2.2.3 Cálculo das Emissões Escopo 2, emissões indiretas por consumo de energia elétrica. 93

2.2.4 Cálculos das Emissões Escopo 3, Emissões de fontes móveis indiretas por transporte de resíduos realizados por terceiros. 98

2.2.5 Cálculos das Emissões de Escopo 3- Emissões Indiretas do Tratamento de Resíduos realizados por terceiros. 99

2.3. Do Plano de Mitigação para emissões de GEE. 105

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO: ESTUDO DE CASO "PROPOSTA DE REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA INDÚSTRIA GRÁFICA". 107

3.1. Resultados dos Inventários de GEE: Quantificação das Emissões 107

3.1.1 Inventários das Emissões de GEE Escopo 1.....107

3.1.2 Inventários das Emissões de GEE Escopo 2.....110

3.1.3 Inventários das Emissões de GEE Escopo 3 *Upstream* Categorias 4-Transporte e Distribuição e 5-Resíduos gerados nas operações 113

3.1.4 Resultado geral Inventário das Emissões de GEE 117

3.2. Proposta de Plano de Mitigação para Emissões de GEE. 123

3.2.1. Redução das Emissões de CH_4 pela Gestão de Resíduos Sólidos.....125

3.2.2. Redução das Emissões de CO_2eq. pelo uso de Biocombustíveis 128

3.2.3. Redução das Emissões de CO_2eq. pela opção de eficiência energética ...137

3.2.4. Redução total das emissões de CO_2 equivalente mediante o cenário do Plano de Mitigação das emissões GEE. 140

CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E ESTUDOS FUTUROS. 142

Conclusões. 142

Limitações e Perspectivas Futuras 144

REFERÊNCIAS 146

APÊNDICE.....161

INTRODUÇÃO

O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) destaca a vulnerabilidade da vida na Terra em relação à elevação da temperatura média global resultante do aumento das emissões antropogênicas de gases de efeito estufa (GEE), tais como CO_2, CH_4, N_2O e HFCs. A grande apreensão da comunidade científica mundial, paira sobre como serão as respostas do clima em uma atmosfera com concentrações GEE maiores do que as atuais (IPCC, 2018).

O diálogo científico e político produzido pela *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) especificamente a partir da conferência da ECO 92, realizada na cidade do Rio de Janeiro, e posteriormente em 2007, com o Protocolo de Kyoto, que estabeleceu metas para redução das emissões de GEE em 5 % em relação ao ano de 1990 para os países desenvolvidos, e os alertas desde o IV Relatório do IPCC, em 2007, que confirmam o aquecimento do sistema climático associado as emissões GEE, enfocaram a necessidade de planos de mitigação para emissões antropogênicas de GEE (IPCC, 2007; UNFCC,1998; HICKMANN, 2017)

A partir do Acordo de Paris da COP21[1] com as concordatas estabelecidas em cada Contribuição Nacionalmente Determinada[2] (NDCs), estabelecido pelas das nações que aderiram aos objetivos de redução das emissões de GEE, surgem os desafios para manter o aquecimento global na escala de 1,5 ºC e que implicam na opção por energias renováveis e práticas de melhoria em processos de produção e de consumo no contexto do desenvolvimento sustentável (BEZERRA et al, 2019).

No Brasil, a Legislação Ambiental, contribuiu indiretamente para um cenário favorável à aplicação da NDCs. Como exemplo existe um fator convergente na

---

[1] Conferência das Partes (COP - Conference of Parties): Órgão Supremo da Convenção Quadro da Nações Unidas em Mudanças Climáticas (UNFCCC). A COP se reúne uma vez por ano, desde 1995, com vistas a observar o cumprimento dos compromissos assumidos pelas partes para alcançar os objetivos da convenção, divulgar novas questões científicas e verificar a eficácia dos programas nacionais de mudanças climáticas.

[2] Contribuição Nacionalmente Determinada do inglês *Intended Nationally Determined Contribution* (iNDC) são metas voluntárias para redução das emissões de GEE em comparação a um ano base estimadas e definidas por cada país membro do Acordo de Paris e submetidas à Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima (UNFCCC).

legislação em vigor no Brasil entre as Políticas de Resíduos Sólidos com a Política de Mudanças Climáticas que designam em comum o inventivo à boas práticas para o desenvolvimento sustentável e de baixo carbono.

Na Política Nacional Resíduos Sólidos (PNRS), Lei 12.305 de agosto de 2010, em seu artigo 7º estabelece como objetivo a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento de resíduos sólidos, o referido artigo, em consequência converge com os objetivos da Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC), Lei 12.187 de 29 de dezembro de 2009, que por sua vez apresenta como finalidade estimular atividades de baixo carbono, com foco na redução das emissões de GEE e de resíduos (BRASIL,2010; BRASIL, 2009).

Em relação aos projetos de mitigação das emissões de GEE é abordado inclusive o incentivo ao uso de biocombustíveis que apresentam fatores de emissões para CO_2, CH_4 e N_2O menores, comparados aos fatores de combustíveis de origem fóssil e a opção pelo consumo de energias renováveis com fatores de emissões menores do que o SIN.

Na tentativa de limitar o aquecimento global, o IPCC (2018) alerta para participação de todos os setores da economia, tais como: energia, agropecuária, mineração, transporte, construção civil e indústria com objetivo de incentivar práticas que reduzam suas emissões de GEE para atmosfera.

As estratégias para limitar as concentrações de GEE na atmosfera terrestre abrangem os inventários setoriais, ou seja, a quantificação e o monitoramento das emissões expressos em toneladas de CO_2 equivalente e as formas adotadas para suas remoções e reduções diretamente nas fontes (ABREU; ALBUQUERQUE; FREITAS, 2015; AGUIAR; FORTES; MARTINS, 2016).

O setor industrial, quando comprometido com uma gestão ambiental eficiente apresenta um potencial de contribuição em ações que reduzirão as emissões de GEE, a partir de decisões que resultem em melhorias para os aspectos ambientais das atividades (SONG; ZHAO; ZENG, 2017).

O trabalho com recorte no setor industrial gráfico, como estudo de caso, pretende de forma objetiva apresentar as opções de redução das emissões de GEE. A metodologia para essa finalidade parte primeiramente da avaliação dos principais

aspectos ambientais, da identificação das fontes de emissões com maior potencial de redução de GEE, seguido pela observação do consumo de energia, emissões de combustões moveis do transporte e do ciclo de vida de resíduos industriais.

Das opções para mitigação de GEE destacam-se o gerenciamento dos resíduos, mediante ações de coleta seletiva, opção pelo uso de biocombustíveis e fontes de energias renováveis dentro de uma organização que surgem como oportunidades de melhorias.

Segundo, ABNT (2015) a definição da norma ABNT NBR ISO 14001:2015:

> aspecto ambiental é o elemento das atividades, produtos ou serviços de uma organização, que interage ou pode interagir com o meio ambiente. A mesma norma define como impacto ambiental a modificação no meio ambiente tanto adversa como benéfica, total ou parcialmente resultante dos aspectos ambientais de uma atividade.

Conforme a definição supracitada os principais aspectos ambientais identificados nas indústrias gráficas estudadas são o transporte de produtos e resíduos, consumo de energia, gerenciamento e tratamento de resíduos, que são fontes de emissões de GEE, considerando uma perspectiva de ciclo devida.

A Avalição do Ciclo Vida (ACV) é um instrumento que ajuda na identificação dos aspectos ambientais associados ao produto desde a aquisição de matérias primas até a destinação final de resíduos.

E nesse presente trabalho será abordado a aplicação indireta desses conceitos na escolha dos aspectos ambientais relacionados as emissões de GEE de vários de estágios do ciclo de vida de um produto ou serviço gráfico, considerando o conceito ACV, como uma avaliação dos aspectos e impactos ambientais um produto ou processo industrial, no qual compreende de forma sistêmica a atividade ou o uso de um determinado produto até a sua obsolescência.

O estudo irá abordar as emissões de GEE que se limitam as fontes do processo produtivo de materiais impressos e confeccionados pelas indústrias gráficas, dentro dos estágios do ciclo de vida que produzem as emissões indiretas e diretas de GEE pela aquisição de energia, destinação de resíduos oriundos do processo e frota de

entrega de produtos, com objetivo final de buscar possiblidades de redução dessas emissões.

Embora segundo a Norma ISO14064-2 ABNT (2012) a ACV pode auxiliar projetos de redução de GEE de determinado produtos a “pegada de carbono” [3] desses é de difícil mensuração haja vista a variedades de materiais que serão futuramente decompostos (papel, papelão, vinil e outros, madeiras e materiais plásticos) e respectiva rastreabilidade do uso final dos produtos após o seu consumo final.

A aplicação do conceito de ACV neste trabalho participa diretamente como forma de identificação das fontes e opção de metodologia para redução das emissões no Plano de Mitigação sugerido, ou seja, possibilitou planejar mitigações de impactos ambientais inerentes as emissões de GEE sobre o viés da oportunidade de melhoria.

As oportunidades de melhoria com base em ações para redução das emissões são justificadas através de indicadores devidamente medidos e expressos em emissões de CO_2 equivalente obtidos por meio da realização dos inventários de emissões de GEE. Essas ações de redução nas fontes que irão compor o Plano de Mitigação para Emissões de GEE. Contudo o estudo de caso seja voltado para o cenário de emissões no setor industrial gráfico isso não independe de que o modelo possa ser aplicado diretamente ou de forma adaptada para outras atividades emissoras de GEE.

Este trabalho sobre Plano de Mitigação das Emissões de GEE para o setor industrial gráfico será apresentado em quatro capítulos a saber:

No primeiro capítulo é abordado o Referencial Teórico para embasamento do estudo, apresentando a intensificação das emissões de gases de efeito estufa, o aquecimento global e seus impactos; a política internacional e nacional sobre mudanças climáticas; os inventários de GEE a base para elaboração dos planos de mitigação das emissões de GEE; normas técnicas para cálculos de GEE; o perfil da

[3] Pegada de carbono é valor total de CO_2 e outros gases de efeito estufa emitidos durante todo o ciclo de vida de um produto ou serviço e expresso em emissões de CO_2 equivalente (BSI, 2011). É também definido como as emissões de GEE totais geradas direta ou indiretamente por atividades humanas e expressa em CO_2 equivalente (RAHMAN; RIDHOSARI, 2020).

indústria gráfica no Brasil com recorte no Rio de Janeiro e suas principais fontes de GEE.

Em seguida, o segundo capítulo apresenta a Metodologia, a definição do estudo de caso, as ferramentas de cálculo de emissões de GEE, fatores de emissões, para elaboração dos inventários e cálculos das reduções de GEE para cada escopo seguindo as diretrizes e recomendações do Programa Brasileiro *GHG Protocol* da FGV e da NBR ANBT ISO 14064-1:2007 Gases de Efeito Estufa Parte 1[4]: Especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa.

O terceiro capítulo aborda os resultados e discussões das quantificações das emissões nos anos de 2016, 2017 e 2018 nas indústrias gráficas observadas e as oportunidades de mitigação pela redução das emissões estimadas e o percentual de redução das emissões de GEE alcançado mediante os cenários apresentados.

Finalizando o trabalho o quarto capítulo apresenta as conclusões, limitações e perspectivas futuras para elaboração de estudos sobre planos de mitigação das emissões de GEE.

[4] A ABNT NBR ISO 14064, sob o título geral “Gases de efeito estufa” a saber é dividida em três partes: Parte 1: Especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa; Parte 2: Especificação e orientação a projetos para quantificação, monitoramento e elaboração de relatórios das reduções de emissões ou da melhoria das remoções de gases de efeito estufa; Parte 3: Especificação e orientação para a validação e verificação de declarações relativas a gases de efeito estufa.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Propor um plano de mitigação das emissões de gases de efeito estufa em duas indústrias gráficas.

Objetivos Específicos

- Elaborar inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa, referente aos períodos de 2016, 2017 e 2018 de duas gráficas, localizadas na cidade do Rio de Janeiro, mediante as diretrizes técnicas da ferramenta do Programa Brasileiro *GHG Protocol* da Fundação Getúlio Vargas e da Norma ISO14064-1:2007.
- Propor alternativas de projetos para redução das emissões de GEE, no setor gráfico, considerando as abordagens no consumo de energia de baixo carbono, eficiência energética e da verificação do ciclo de vida de produtos e resíduos, usando como referência a norma ISO14064-2:2007.
- Estimar e propor as possibilidades de redução das emissões de GEE considerando cenários de referência.
- Apresentar as limitações e vantagens, a viabilidade ambiental e econômica das alternativas de projetos para redução das emissões de GEE em atividades gráficas.
- Propor modelos de mitigação para as emissões de gases de efeito estufa do setor gráfico.
- Promover o estudo e a pesquisa com referência nas ações que favoreçam o atendimento à Política Nacional de Mudança Climática (PNMC, Lei 12.187 de 29 de dezembro de 2009) e ao Acordo de Paris (COP 21 de dezembro de 2015) e suas aplicações e limitações ao setor gráfico.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. Intensificação das emissões de gases de efeito estufa, aquecimento global e seus efeitos aos ecossistemas e a saúde

Com a finalidade de compreender as causas das mudanças climáticas e os demais impactos ambientais correlacionados ao aumento das concentrações de dióxido de carbono na atmosfera, neste tópico serão apresentados os conceitos e o embasamento teórico sobre a problemática do tema que abarca a intensificação das emissões de gases de efeito estufa (GEE), aquecimento global e seus impactos aos ecossistemas e a saúde (IPCC, 2007).

1.1.1 A Atmosfera, o “Oceano Aéreo”

As ciências ambientais atualmente destacam as causas que contribuem para o aumento do aquecimento global e seus impactos sobre à qualidade do ar e ecossistemas. Estes serão abordados nos tópicos que seguem, mas é importante que para a compreensão do assunto faça-se o entendimento conceitual do sistema atmosférico, onde ocorre os principais fenômenos aqui tratados.

Segundo a definição de Wallace (1903) “o grande oceano aéreo”, a atmosfera, que cerca a superfície da Terra, faz analogia à dinâmica dos oceanos e suas formas de estratificação, pelas quais são gerados os principais processos meteorológicos e físico-químicos que influenciam as condições de vida do planeta, sendo responsável pelos fenômenos que reproduzem a qualidade do ar, o efeito estufa e as mudanças climáticas (VALERO, 2014).

Atmosfera terrestre tem um papel fundamental que é envolver o planeta, um grande invólucro de partículas e gases, capazes de interagir com diversos tipos de radiações oriundas do espaço cósmico, principalmente a radiação solar (NOAA, 2018; SEINFELD; PAIND, 2016; IPCC, 2007).

Esse grande invólucro de partículas e gases é acondicionado pela força gravitacional e o peso desses gases. O que significa dizer que em função do peso e da massa de ar, formadas pelos gases, é produzida uma pressão sobre a superfície da Terra denominada como pressão atmosférica (BARRY; CHORLEY, 2012; EPA, 2007).

Para compreensão a respeito da atmosfera e sua estrutura, é determinante expor seus parâmetros mediante as convenções a seguir: Pressão (hPa), Altitude (km) e Gradiente de Temperatura (ºC), estes parâmetros que definem as divisões de forma vertical e em camadas do invólucro terrestre, vide a Figura 1 Regiões da Atmosfera subdividas em parâmetros de temperatura (ºC), pressão (kPa) e altitude (km) (MOZETO, 2001). A estratificação ou divisões das camadas são: Exosfera, Termosfera, Mesopausa, Mesosfera, Estratopausa, Estratosfera, Tropopausa e Troposfera, seguindo a ordem das mais altas para as mais baixas em relação à distância da superfície da Terra (EPA, 2007; FINLAYSON-PITTS; PITTS, 2000).

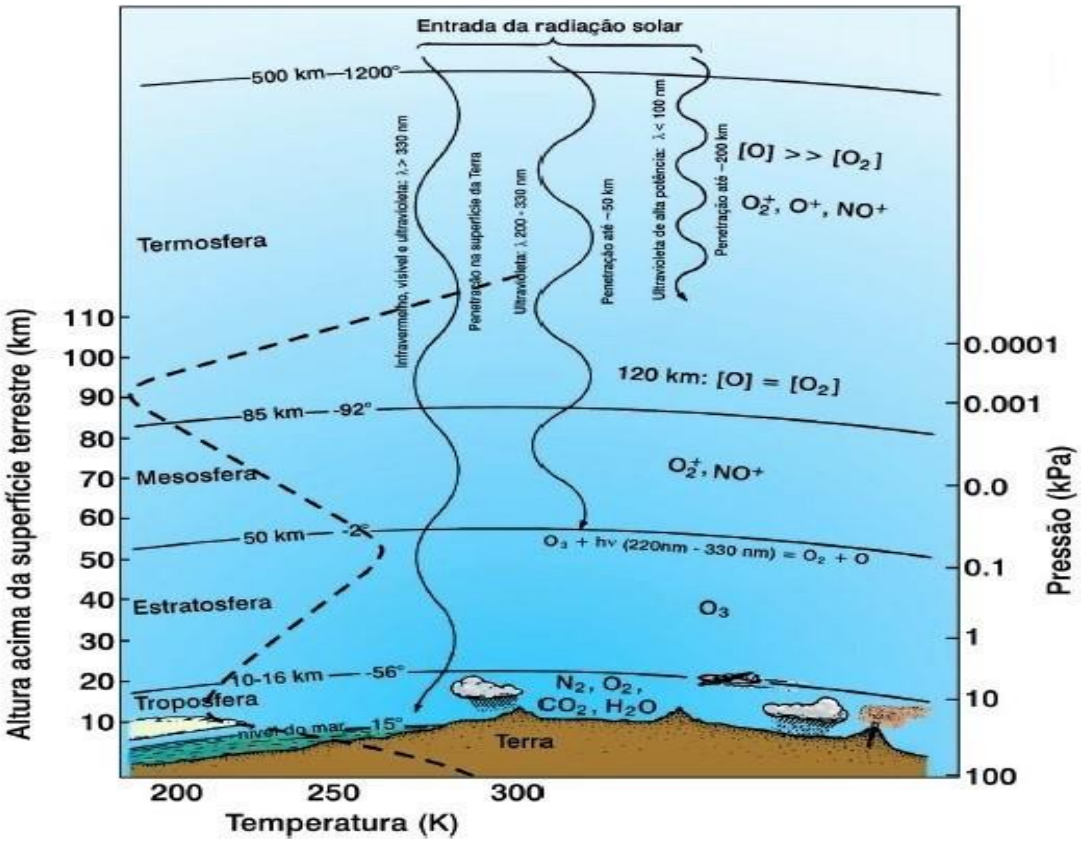
A Exosfera é a região mais distante da superfície, localizada a cerca de 500 km de altitude. É considerada via de entrada da radiação solar no planeta Terra. A composição dos gases nessa região é mais rarefeita em comparação as demais regiões em virtude da baixa pressão atmosférica, menor que 0,0001kPa (MOZETO, 2001; LENZI; FAVERO, 2009; EPA, 2007).

Abaixo da Exosfera encontra-se a Termosfera que é a região com altitude superior 85 km, baixa pressão atmosférica, menor que 0,001 kPa, e temperaturas mais altas podendo chegar acima dos 1200 ºC (MOZETO, 2001).

As altas temperaturas nesta camada são produzidas pela absorção da radiação de curtos comprimentos de onda pelas moléculas dos gases de nitrogênio e oxigênio. E, devido a elevada absorção de energia na forma de comprimentos de ondas entre 100 a 200 nm, aparecem as espécies iônicas, e a partir desse fenômeno, é formada a Ionosfera (LENZI; FAVERO, 2009; EPA, 2007).

Em altitudes na faixa de 85 km até 50 km encontra-se a Mesosfera, onde as temperaturas são mais frias, na faixa de -70 ºC a -92 ºC diminuindo o gradiente de temperatura à medida que aumenta a altitude, sendo assim, considerada a região mais fria da atmosfera (SEINFELD; PAIND, 2016).

Figura 1: Regiões da Atmosfera subdividas em parâmetros de temperatura (ºC), pressão (mb) e altitude (km).



Fonte: Adaptado MOZETO, 2001.

Conforme afirma Mozeto (2001), a queda da temperatura na Mesosfera, deve-se à diminuição da concentração de gases que absorvem a radiação ultravioleta, especialmente o ozônio (O_3).

Na faixa de 50 a 20 km da superfície da Terra, localiza-se a Estratosfera, que ao inverso da Mesosfera, a temperatura aumenta conforme a altitude. Esse aspecto, também é relacionado a concentração de gases presentes nessa região. A alta concentração de O_3 é o principal agente para aquecimento dessa altitude, uma vez que o O_3 absorve a energia da radiação solar, na forma de raios ultravioletas, e emite, por sua vez, essa energia na forma de calor, resultando no aumento da temperatura da Estratosfera (BARRY; CHORLEY, 2012). Essa alta concentração forma uma camada de ozônio que, segundo Baird e Cann (2011), tem a função de bloquear, tornando-se um escudo solar natural da Terra, pois ao absorver os raios ultravioletas,

antes que estes atinjam a superfície da Terra, evita danos aos seres humanos e a outras formas de vidas.

O embate que na atualidade acomete ao mundo, refere-se aos impactos e efeitos danosos causados pela relação do homem e natureza em sistema globalizado, muito discutido pelo Programa das Nações Unidas e Meio Ambiente – PNUMA, na ONU, que busca obter soluções em comum para mitigações das emissões ostensivas de poluentes atmosféricos e GEE (WALKER; KING, 2008; IPCC, 2018).

Quando se fala de aquecimento global há muitos ruídos discordantes que tentam abster as ações humanas nas mudanças climáticas e nas catástrofes naturais que vem acometendo o planeta (WALKER; KING, 2008; IPCC, 2018).

Contudo, é no último nível, ou seja, na altitude mais baixa, da estratificação da atmosfera a Troposfera, a camada mais próxima da superfície, onde se reproduzem os fenômenos climáticos, o aquecimento global e as alterações na qualidade do ar. Onde também se estabelecem as condições para manutenção da qualidade do ar, que vem sofrendo com a ação do homem sobre natureza (SEINFELD; PAIND, 2016).

A Troposfera fica abaixo da Estratosfera na altitude média entre 10 a 15 km acima da superfície da Terra (SEINFELD; PAIND, 2016).

Cabe considerar a delicada condição da Troposfera que corresponde apenas 0,3 % do raio médio total da Terra que é de 6.371 km, ou seja, a camada onde se estabelece a vida não ultrapassa os 20 km (VAREJÃO, 2008). Esse fato leva a uma reflexão: a importância das ciências ambientais em promover a preservação da atmosfera terrestre, cujas características físicas são peculiares para manutenção do equilíbrio dos ecossistemas (MATHEZ; SMERDON, 2018; SEINFELD; PAIND, 2016).

Sobre as condições de temperatura, a Troposfera é mais quente em baixas altitudes e mais fria nas mais altas, observa-se que é inverso ao que ocorre na Estratosfera (NOAA, 2009). Esse fenômeno, no gradiente de temperatura, deve-se ao fato de que a concentração de gases na Troposfera fica mais alta à medida que se a próxima da superfície (EPA, 2007; NOAA, 2009).

É na Troposfera que se encontra mais de 80 % da concentração de todos os gases da atmosfera e mais de 50 % desses gases estão contidos em apenas um terço (1/3) da Troposfera, localizados em menores altitudes (MATHEZ; SMERDON, 2018).

A composição desses gases atmosféricos, concentrados na troposfera, está apresentada na Tabela 1, onde os principais gases são o Nitrogênio (N_2), 78 %,

Oxigênio (O_2), 21 % e Argônio (Ar) 1 %, seguidos de outros gases em níveis traço (NOAA, 2018).

Tabela 1: Composição dos Gases Atmosféricos.

Componente	Composição ar seco (ppm)	Porcentagem Composição de ar seco	Composição do ar com 3 % de umidade (ppm)	Porcentagem Composição do ar com umidade de 3 %
N_2	780.900	78,0902 %	757.473	76,4369 %
O_2	209.400	20,9400 %	203.118	20,4967 %
Vapor d'água (H_2O_v)	0	0,0000 %	30.000	3,0273 %
Ar	9.300	0,9300 %	9.021	0,0364 %
CO_2	372	0,0372 %	360,8	0,0018 %
Ne	18	0,0018 %	17,5	0,0005 %
He	5	0,0005 %	4,9	0,0002 %
CH_4	2	0,0002 %	2	0,0001 %
Kr	1	0,0001 %	1	0,0001 %
Outros gases traço	1	0,0001 %	1	76,4369 %
Total	1.000.000	100 %	1.000.000	100 %

Fonte: Adaptado NOAA, 2018.

É na região da Troposfera que são lançados os poluentes atmosféricos gerados pelas atividades humanas. Embora em concentrações de nível traço em comparação a composição da massa de ar rica em N_2 e O_2, determinados poluentes podem contribuir para o aumento do aquecimento do ar troposférico, impactando as condições do clima e a destruição da camada de O_3 na Estratosfera (VALERO, 2014).

Existe na troposfera conforme dito anteriormente, uma correlação direta entre a concentração dos gases atmosféricos com a temperatura da troposfera. O fenômeno através do qual a concentração de alguns gases traços infere no gradiente de temperatura é conhecido como o Efeito Estufa (IPCC, 2013).

1.1.2 Formação do Efeito Estufa

Em 1827, Joseph Fourier publicou um artigo científico sobre a observação do efeito estufa o qual comparou o fenômeno ao sistema fechado na forma de redoma de vidro, onde o vidro permitia a entrada de radiação do sol, que aquecia o interior, o que por sua vez aquecia também o ar acima da superfície interior através de radiações de ondas longas (calor). O vidro então agia como uma barreira para manter o ar quente dentro do sistema fechado, sendo ar mais frio fora da estufa (JIAN-BIN et al., 2012; EDWARDS, 2010).

Segundo Arrhenius (1896) prevalece um equilíbrio entre a temperatura da Terra e de sua atmosfera. Quando esta perde calor por irradiação para o espaço e quando ganha por absorção dos raios do sol, tal ganho mantém a Terra aquecida (MATHEZ; SMERDON, 2018).

O equilíbrio entre a temperatura da Terra e da sua atmosfera ocorre da seguinte forma: a Terra recebe através da atmosfera a radiação ultravioleta (UV), emitida pelo Sol, em ondas de comprimentos curtos, sendo que 30 % são refletidos pelas nuvens e pela superfície terrestre, 20 % é absorvida na atmosfera e aproximadamente 50 % é absorvida na superfície da Terra (NOAA, 2018). Os gases de efeito estufa (GEE) absorvem a radiação em comprimentos de ondas específicos dentro do espectro de radiação da região do infravermelho térmico, entre 5 a 100 μm (BAIRD; CANN, 2011).

A energia eletromagnética absorvida pela superfície da Terra emitida de volta para atmosfera, em comprimento de ondas mais longos, na forma de radiação infravermelha (IV) é absorvida por moléculas de gases traços presentes na atmosfera que por sua vez não possibilita a transferência completa do calor da Terra para o espaço, colaborando para estabilização razoável da temperatura na troposfera, não permitindo o seu completo resfriamento, contribuindo para um gradiente de temperatura até então adequado para as condições de vida no planeta (BARRY; CHORLEY, 2012).

Os gases traços que participam do processo de absorção e emissão da radiação infravermelha (IV) na atmosfera foram inicialmente definidos conforme a terminologia da língua inglesa *green house gas* (GHG), fazendo uma analogia da

palavra *house* (casa) com conceito de estufa ou redoma descoberto por Joseph Fourier (DUNNE; JACKSON; HARTE, 2013).

Os GEE são compostos moleculares com propriedades espectroscópicas, capazes de absorverem parte da radiação (IV) conservando-a em determinada altitude e transferindo a radiação IV para atmosfera, com isto influenciam a temperatura e o balanço energético de entrada e saída de energia solar sobre a superfície do planeta. Esse fato é justificável pela capacidade dessas moléculas em absorver a radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre. Numa visão molecular observa-se o aumento nos movimentos vibracionais e rotacionais dessas moléculas na presença da radiação IV. Esses gases, conforme o movimento vibracional, irradiam no infravermelho (BARBERA; VYMAZAL; MAUCIERI, 2019).

Os principais GEE foram apontados pelo Protocolo de Kioto (1997), com a finalidade de promover a redução das emissões antropogênicas desses gases e mitigar os impactos do aquecimento global. Em 1997, na cidade de Kioto, no Japão, com apoio da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima da Organização das Nações Unidas (ONU), vários países firmaram um acordo internacional e na ocasião, o Protocolo de Kioto, definiu como indicadores de emissões de GEE os seguintes gases, a saber: (ABNT, 2007):

- Dióxido de Carbono, CO_2
- Metano, CH_4
- Óxido Nitroso, N_2O
- Hexafluoreto de Enxofre, SF_6
- Hidrofluorcarbonos, HFCs
- Perfluorcarbonos, PFCs

A listagem do protocolo de Kioto é a base de orientação aplicada internacionalmente para Norma da ABNT NBR ISO 14064:2007, que trata da especificação e orientação às organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa.

Cabe ressaltar que a lista do Protocolo de Kioto referida não apresenta todos os GEE existentes, apenas os quatro principais e os grupos HFCs, PFCs, sendo

esses, da lista, os mais detectados na atmosfera, devido aos variados processos de emissão de GEE (FGV, 2018).

Os gases das famílias HFCs, PFCs são gases sintéticos usados em sistemas de refrigeração, ar condicionados, geladeiras e frigoríficos (FGV, 2018). Esses gases além do efeito estufa na troposfera são precursores das reações químicas que destroem a camada de ozônio na estratosfera, e foram restringidos mediante acordo internacional do Protocolo de Montreal[5] que entrou em vigor em 1 janeiro de 1989, sendo no Brasil controlado pelo IBAMA (IPCC,2005; BRASIL, 2018).

Além dos GEE listados pelo Protocolo de Kioto, o vapor de água é também um GEE, porém sua concentração na atmosfera é muito variável, e está diretamente associada aos fatores meteorológicos e naturais. Devido a sua instabilidade não é possível definir uma correlação direta com as causas do aquecimento global (BAIRD; CANN, 2011).

Contudo apesar dos cientistas no passado acreditarem que o vapor d'água seria o principal GEE, as pesquisas atuais apresentam que o protagonista do efeito estufa na verdade é o CO_2, ao aquecer a atmosfera, apenas um pouco, permite que ela receba e retenha mais umidade que o natural. Essa umidade, por sua vez, aquece a massa de ar ainda mais, e assim é criado um elo de retroalimentação positiva forçando a temperatura do planeta à níveis mais elevados (FLANNERY, 2007; IPCC,2013).

Segundo Seinfeld e Pandis (2016) a partir dos avanços da tecnologia de medição do infravermelho, em 1955, com Gilbert Plass evidenciou-se que uma molécula de gás de CO_2 absorve quantitativamente mais radiação infravermelha do que uma molécula de H_2O na fase vapor.

Na Tabela 1 observa-se que o percentual de CO_2 em 2018 foi de 0,0372 % (NOAA, 2018), a maior concentração entre os GEEs, comparado aos gases CH_4 e N_2O. O CO_2 embora seja um gás traço, exerce uma influência significativa na

[5] O Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio (SDO) é um tratado internacional que visa proteger a camada de Ozônio por meio da eliminação da produção e do consumo das substâncias responsáveis por sua destruição. O Brasil é signatário da Convenção de Viena que promulgou o Protocolo de Montreal sobre Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio, acordo formalizado no país com a publicação do Decreto nº. 99.280/90 (IBAMA, 2018).

atmosfera sendo o protagonista do ciclo geoquímico. Participa de processos de interação entre atmosfera, oceano e superfície, interferindo sobre os sistemas biológicos, geológicos e no clima, devido ao seu forte potencial em absorver a radiação infravermelha, atuando no equilíbrio da temperatura da atmosfera (KELLING, 1976; IPCC, 2013).

O CO_2 possui a capacidade de absorver maior quantidade da radiação infravermelha (IV) e assim propagar mais calor para troposfera (MATHEZ e SMERDON, 2018; IPCC,2013). Essa radiação se propaga em várias direções, inclusive retornando à superfície, o que mantém a sua temperatura mais quente do que seria na ausência desse processo de retenção da radiação refletida pela superfície da Terra (BAIRD; COLIN, 2011; IPCC, 2018).

Segundo Allinger (1976) e Silverstein, Webster e Kiemle (2006) as configurações das ligações químicas entre os átomos nas moléculas contribuem para o potencial de absorção da radiação do IV em determinados comprimentos de onda.

O que leva as moléculas a absorver IV em diferentes comprimentos de onda são os diferentes movimentos vibracionais dos átomos. Esses promovem estados vibracionais sob diferentes frequências, quando a molécula absorve a energia eletromagnética (MATHEZ; SMERDON, 2018; SILVERSTEIN, WEBSTER; KIEMLE, 2006). É o caso, portanto do sistema de ligações do CO_2, O=C=O, quando há deformação angular, absorve energia em comprimento de ondas de 667 cm^{-1}. Enquanto no sistema H-O-H, vapor d'água, o mesmo fenômeno ocorre em ondas de 1595 cm^{-1} (ALLINGER, 1976; FAVERO; LENZI, 2009).

A molécula de CO_2 apresenta dois tipos de movimentos vibracionais que contribuem para sua absorção da radiação IV, que são: a vibração de deformação angular do sistema O=C=O e o estiramento assimétrico (SILVERSTEIN; WEBSTER; KIEMLE, 2006; IPCC,2013).

A vibração de deformação angular altera o ângulo das ligações carbono-oxigênio, quando essa deformação gera um estágio dipolar dentro da molécula a radiação IV é absorvida. O estiramento assimétrico trata-se da variação da distância entre os átomos nas ligações, podendo ser mais longos ou mais curtos, ou seja, as ligações C-O estiram ou encurtam de modo sincronizado. As distancias entre C e O

podem aumentar e diminuir e durante esse processo e absorvem a radiação IV (SILVERSTEIN; WEBSTER; KIEMLE, 2006; BAIRD; COLIN, 2011).

Estudos sobre o efeito estufa e os GEE são realizados, há mais de 50 anos e tem demostrado que as concentrações de GEE na atmosfera variam de três maneiras: diariamente, sazonalmente e anualmente. Considera-se, ainda, que o acréscimo das moléculas de CO_2, CH_4 e N_2O na atmosfera embora sejam gases traços, mesmo em pequenas porcentagens em relação à composição do ar terrestre exercem influências significativas na intensificação do efeito estufa (IPCC, 2013).

As fontes de GEE estão divididas em processos naturais ou antropogênicos. Os processos naturais são relacionados aos processos de decaimento biológico anaeróbico ou aeróbico, como exemplo decomposição de folhas que caem das arvores, principalmente no período do outono, as erupções dos vulcões, as queimadas naturais nas florestas e evaporação no caso do vapor d'água (BAIRD; COLIN, 2011).

As fontes antropogênicas estão relacionadas diretamente às emissões produzidas em processos industriais, climatização, destacam-se a queima de combustíveis fosseis para geração de energia, decomposição de material biológico em reservatórios hidroelétricos, o uso e ocupação do solo, mediante desmatamento e queimadas, muitas das vezes associados ao atendimento de empreendimentos agropecuários e de mineração (PBMC, 2014; IPAM, 2010; AZEVEDO; RAMOS; MOUTINHO, 2018).

1.1.3 Forçamento Radiativo e a Intensificação do Efeito Estufa

Importante parâmetro para relacionar o aquecimento global à intensificação das emissões de GEE, contabilizadas em termos de dióxido de carbono, é explicado pelo conceito de Forçamento Radiativo (RF) ou Forçamento Climático que faz referência

ao balanço de entrada e saída de energia solar no planeta. O RF é expresso em watts por metro quadrado da superfície (W m^{-2}) (IPCC, 2013; INPE, 2018)[6].

Segundo o IPCC (2013), forçamento radiativo é a perturbação do balanço de energia do sistema superfície-atmosfera, e pode estar relacionado ao aumento da concentração dos GEE na troposfera, alterando o balanço de energia na Terra, quando retém parte da radiação refletida pela superfície para o espaço e portanto aumentando a quantidade de energia em circulação na troposfera. Isto deve-se ao fato de que, quanto maior a concentração de GEE na atmosfera maior será a barreira para que a energia refletida ou albedo, retorne ao espaço, ficando retida na atmosfera terrestre e por sua vez contribuindo para o aquecimento global.

O forçamento radiativo pode ser compreendido como a intervenção que ocorre sobre o balanço de energia do sistema terra-atmosfera (em W m^{-2}) mediante, por exemplo, a variação da concentração de CO_2 ou da radiação solar e representa a alteração no fluxo de energia causada por um catalisador, e é calculada na tropopausa ou na parte superior da atmosfera (IPCC, 2014).

Segundo Bultler e Montzka (2018) as análises mais recentes que foram realizadas pelo laboratório de Pesquisa do Sistema Terrestre da NOAA, demonstraram que está ocorrendo uma maior influência dos gases traços, GEE, no aquecimento global. Conforme as medições realizadas entre 1990 a 2017 a forçante radiativa dos GEE aumentaram em 41 %, (equivalente a ~ 0,90 W m^{-2}), sendo o CO_2 responsável por 82 % (equivalente a ~ 0,72 W m^{-2}).

Essas evidencias demostram que devido ao efeito estufa a Terra absorve mais energia do que emite, o que caracteriza um forçamento radioativo positivo a partir de uma confiável contribuição das concentrações de GEE (IPCC, 2013).

Chen et al. (2014) afirma que o aumento das emissões de CO_2 é o fator mais relacionado ao aquecimento global, mediante pesquisas que demostram o mecanismo

---

[6] Conforme citado inicialmente a terra recebe a radiação solar oriunda do espaço, e emite também energia no contra fluxo planeta – espaço, formando um balanço de energia entre a Terra e o Espaço mediante as interações dessa energia com a atmosfera.

de condução da intensificação do efeito estufa mediante o forçamento radiativo, as concentrações de GEE e a circulação oceânica.

1.1.4 Impactos Ambientais do Aquecimento Global

No tópico anterior identificou-se a relação do forçamento radioativo com a intensificação do efeito estufa que por sua vez é impulsionado pela atividade humana, principal fonte de GEE nos últimos séculos.

Segundo Steffen, Crutzen e Mcneill (2007) as atividades humanas estão exercendo impactos sobre o meio ambiente em escalas que comprometem os processos naturais. O efeito estufa, entre os processos naturais do planeta, é um dos mais sensíveis às atividades industriais e econômicas. A humanidade tomou para sim um certo poder de influência sobre o efeito estufa, mediante as emissões atmosféricas de GEE em níveis altos para um curto período. A partir desse momento no qual a humanidade é responsável pela intensificação do efeito estufa, e interferência no forçamento radioativo, define-se a era geológica do Antropoceno.

Assim a era do Antropoceno é caraterizada pelo acréscimo das emissões de CO_2, CH_4 e N_2O e pelas perspectivas preocupantes dos impactos ambientais observados e produzidos pelo aumento da temperatura global e acidificação do pH na superfície dos oceanos, inequivocamente atribuível às atividades humanas (STEFFEN et al., 2015).

Ao longo do tempo a observação do aquecimento global foi cada vez mais apurada e mais bem justificada em função das tecnologias instrumentais e melhores metodologias de medição de CO_2 e temperatura na atmosfera terrestre.

Pode verificar-se em forma de linha de tempo que se destacaram nas avaliações sobre a concentração do CO_2 e da temperatura atmosfera entre 1896, os trabalhos de Svente Arrhenius, por volta de 1930 com Guy Callendar e 1970 com Keelling até os dias atuais, pelos trabalhos divulgados e copilados pelo IPCC.

Destaca-se a correlação da manutenção do calor com as emissões de CO_2 que foi originalmente motivado por Svente Arrhenius em 1896, quando publicou que os níveis das emissões de CO_2 proveniente da combustão de carvão mineral, principal matriz energética do século XIX, poderiam contribuir para o aumento da temperatura na Suécia (ANDERSON; HAWKINS; JONES, 2016).

As evidências sobre o aumento das concentrações de CO_2 na atmosfera como fator influenciador do aquecimento global continuaram sobre intensivas investigações, por exemplo o meteorologista britânico Guy Callendar (1938) defendia a tese de que até o ano de 1990 a concentração de CO_2 aumentaria em 10 % (SEINFELD; PANDIS, 2016).

Callendar em sua pesquisa obteve a informação de um aumento da temperatura em 0,38 ºC entre 1880 e o final da década de 1930. As incertezas na época eram maiores comparada aos resultados atualmente, contudo mesmo assim conseguiu estabelecer uma relação com as emissões de CO_2 e aumento da temperatura (ANDERSON; HAWKINS; JONES, 2016).

Os avanços na busca por respostas sobre a relação das emissões de GEE em relação a intensificação do aquecimento global, ou intensificação do efeito estufa, teve, inicialmente, sua mais moderna ferramenta de pesquisa na década de 70 com o químico e pesquisador do Charles David Keeling do *Scrips Institution of Oceanography* da Universidade da Califórnia (NOAA, 2018).

Keeling realizou medições da concentração do CO_2 na atmosfera, na estação de monitoramento localizada na base do vulcão de Moa Loa no Havaí.

A sua metodologia forneceu uma amostra bem misturada de ar troposférico de todo o Hemisfério Norte. Sua pesquisa foi um marco para estudos do ciclo do carbono na atmosfera (JIAN-BIN et al., 2012).

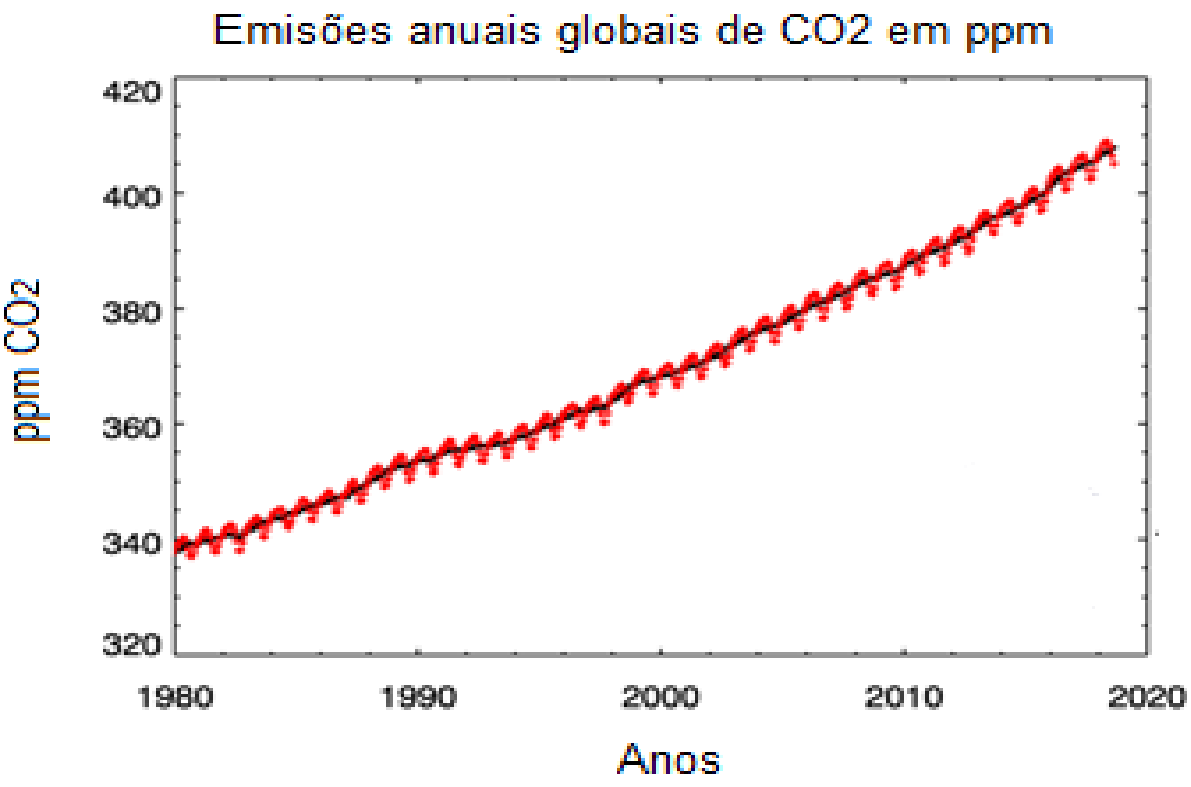
Segundo as conclusões das pesquisas de Keeling as concentrações de CO_2 aumentariam ano após ano e, com base nessas medições periódicas foi estabelecida uma linha de tendência anual, e atribuiu esse aumento das concentrações sazonais de CO_2 na atmosfera às fontes de emissões antropogênicas, mediante identificação e separação dos isótopos radioativos de carbono (NOAA, 2018).

O monitoramento de CO_2 na atmosfera realizado em 2018 verificou uma concentração média anual de 408,52 ppm de CO_2, o que corresponde a uma taxa de crescimento de 2,86 ppm em comparação ao ano de 2017, segundo dados analisados pela Estação de Monitoramento da NOAA, Havaí, do *Global Monitoring Division* (KEELIN; TANS, 2020).

Resultados dos monitoramentos de GEE na atmosfera em 2011 alarmaram a comunidade cientifica, quando verificou-se que a concentração atmosférica de CO_2, CH_4 e do N_2O, foram de 391 ppm, 1803 ppb e 324 ppb, excedendo aos níveis pré-industriais em 40 %, 150 % e 20 %, respectivamente (NOAA, 2018, IPCC,2013). Esses estudos concluem que as concentrações desses GEE excederam substancialmente a maior concentração registrada em núcleos de gelo nos últimos 800.000 anos (IPCC, 2013).

Na Figura 2 é demonstrada a continuidade do monitoramento de CO_2 da atmosfera realizado pelo *Scrips Institution of Oceanography.* Os resultados expressam a tendência do aumento das concentrações de CO_2 na atmosfera entre 1980 a 2020.

Figura 2: Curva de Keelling - Curva de Concentrações (ppm) Anuais de Dióxido de Carbono na Atmosfera - em escala de anos de 1960 a 2020.



Fonte: Scrips Institution of Oceanography, 2019.

NOTA: A linha preta da figura representa a linha de tendência formada pelos dados corrigidos sazonalmente e a linha vermelha são medições diretas de CO_2 em ppm medidos como a fração molar no ar seco (NOAA, 2018).

Há várias décadas devido ao aumento da taxa de emissão de CO_2 antropogênico para atmosfera verificou-se acréscimo nos níveis de absorção de CO_2 nos ecossistemas oceânicos e terrestres, principais sumidouros do ciclo geoquímico de carbono.

Sabe-se que o oceano é o principal reservatório capaz de absorver o CO_2 e o maior regulador natural das concentrações de CO_2 da atmosfera em escalas de tempo de séculos a milênios (MATHEZ; SMERDON, 2018).

É evidente de que as alterações nas propriedades físicas e biogeoquímicas dos oceanos estão impactando os ecossistemas marinhos, essas alterações por sua vez

são atribuídas ao forçamento antropogênico decorrente do aumento das emissões de GEE (IPCC, 2019).

O Quinto Relatório do IPCC (2013) alerta para o desequilíbrio químico na transferência de carbono da interação entre oceano e atmosfera, provocado pelo acúmulo intenso de GEE na atmosfera e consequentemente resultando na acidificação dos oceanos. O oceano ao absorver elevada concentração de CO_2 produz mais ácido carbônico (H_2CO_3) reduzindo o pH do meio.

Nos oceanos, devido ao equilíbrio das reações ácido-base, a percentagem de carbono dissolvido é distribuída em aproximadamente 89 % do carbono dissolvido na forma de bicarbonato, 10 % na forma de íon carbonato e somente 1 % na forma de CO_2 e ácido carbônico (SILVA, 2011; MATHEZ; SMERDON, 2018).

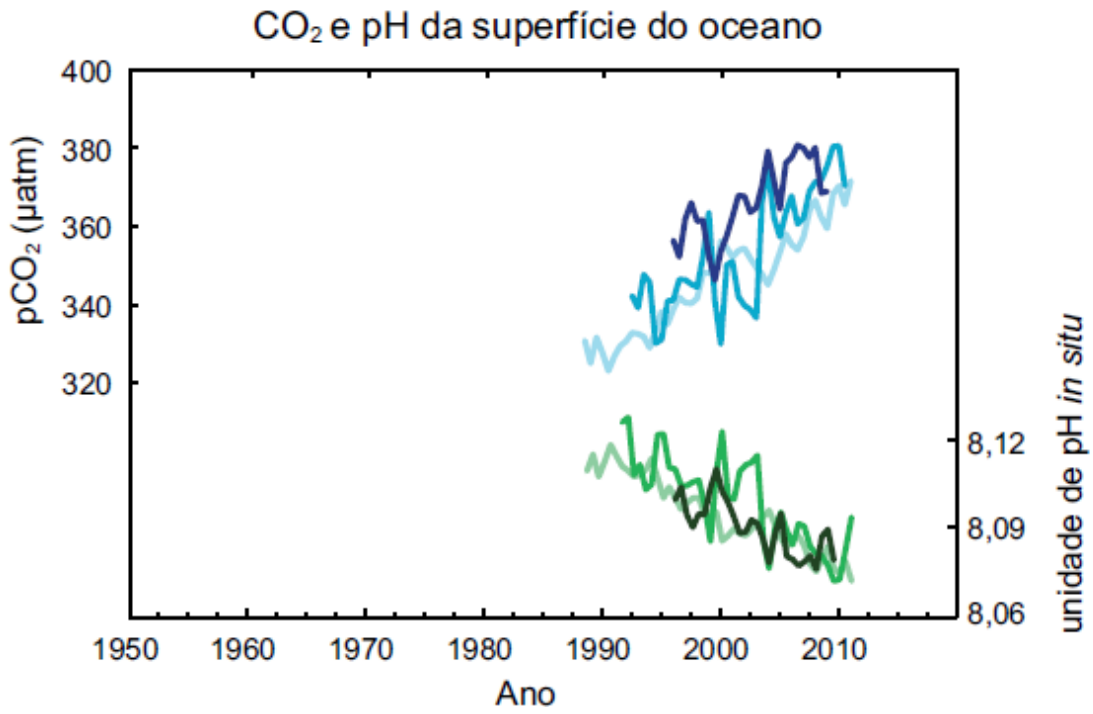
Conforme observado, anteriormente, as formas iônicas de carbono distribuídas nos oceanos, conclui-se que esse acréscimo de CO_2 embora na faixa de 1 %, é suficiente para reproduzir a alteração do pH.

A severidade do assunto está na sensibilidade de resposta ao equilíbrio oceânico com aumento de CO_2 e redução do pH e, associado a isto, os impactos ambientais decorrentes (IPCC, 2013).

A Figura 3 representa a figura da redução do pH dos oceanos em paralelo com o aumento da pressão pCO_2 na superfície dos oceanos que estão diretamente correlacionados.

Segundo pesquisas do IPCC acredita-se que desde a era industrial até o momento, o pH dos oceanos diminui 0,1, o que equivale ao aumento de 26 % da concentração de íons hidrogênio (IPCC, 2013).

Figura 3: Variação da concentração do gás CO2 e do pH na Superfície dos Oceanos Atlântico e Pacífico.



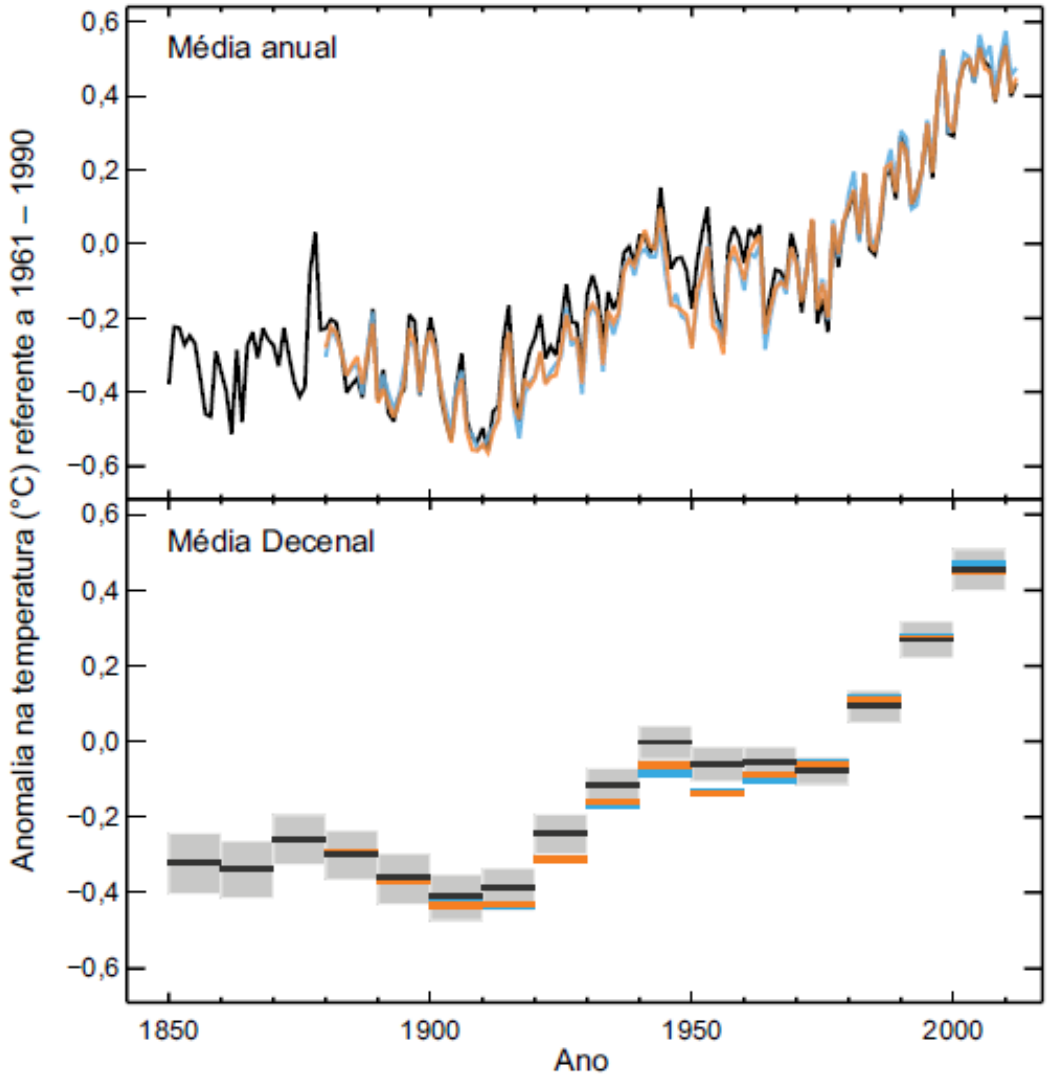
Fonte: IPCC (2013).

Nota: O eixo Y representa pressão parcial do CO_2 dissolvido na superfície do oceano representado pelas curvas azuis. O eixo X pH local (curvas verdes). Medições das estações do Atlântico (29° 10'N,15° 30'O - azul escuro/verde escuro; 31° 40'N, 64° 10'O - azul/verde). Medições das estações do Oceano Pacífico (22° 45'N, 158° 00'O - azul claro/verde claro).

Observando uma série histórica maior que 15 anos, o IPCC, afirma que é praticamente correto que existe uma redução do pH dos oceanos abertos, mediante uma variação contando a partir do final de 1980, entre 0,017 pH a 0,027 pH por década, com intervalos de confiança de 99%. Como impactos destaca a tendência de diminuição da estabilidade química de formas minerais de $CaCO_3$, atribuído ao aumento de CO_2 (BINDOFF et al., 2019).

Na Figura 4 é demostrado a variação da temperatura global que indica o seu aumento considerável, principalmente no século XX. As medições diretas foram realizadas no oceano sendo uma no Pacífico e duas no Atlântico (IPCC, 2013). Média global combinada da anomalia da temperatura da superfície do oceano e da terra observada 1850–2012.

Figura 4: Média global combinada da anomalia da temperatura da superfície do oceano e da terra observada 1850–2012.



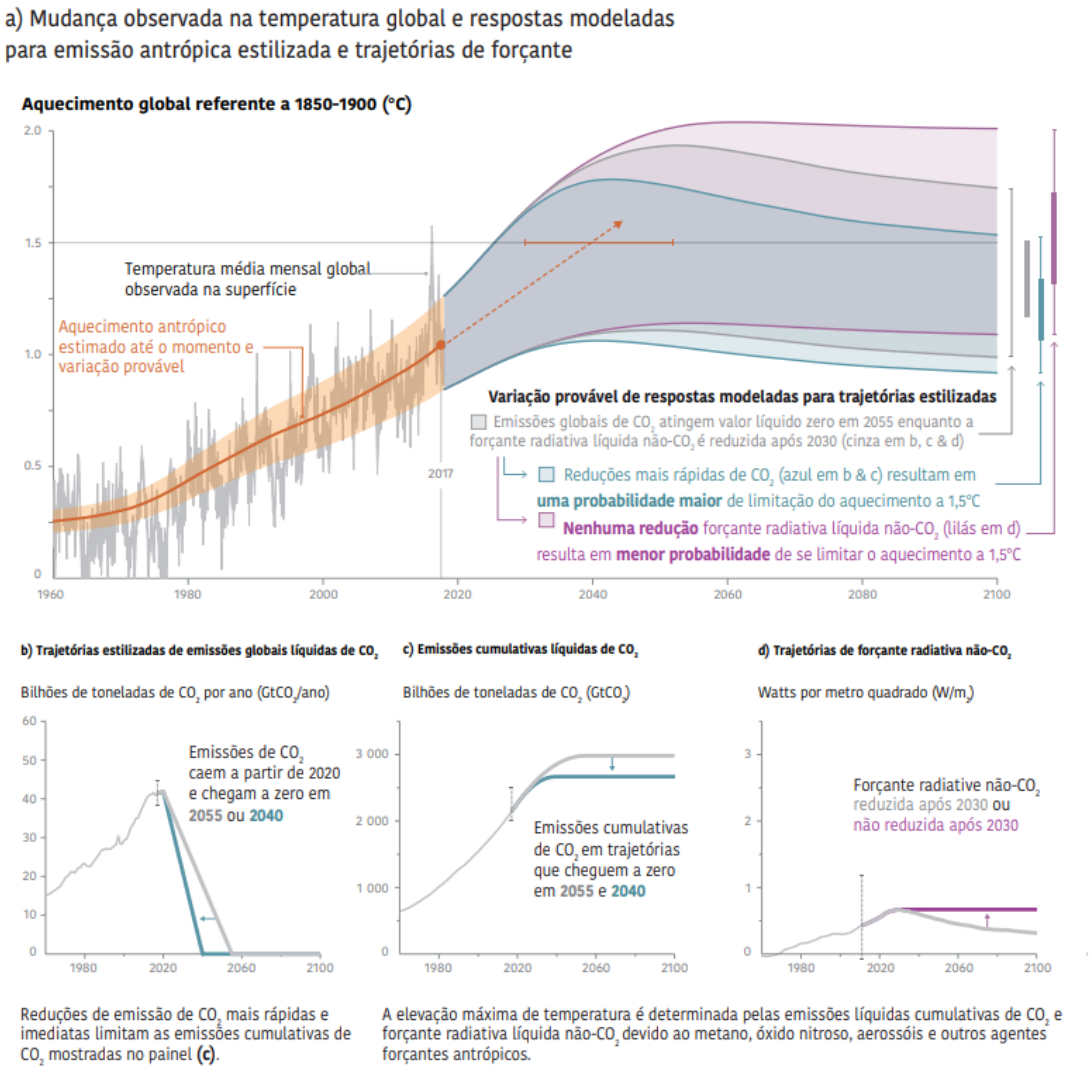
Fonte: IPCC (2013).

O IPCC (2018) estima que as atividades antropogênicas provocaram o forçamento do aumento da temperatura em cera de 1,0 ºC acima dos níveis pré-industriais com uma variação provável de 0,85 a 1,2 ºC.

O grande problema está nas evidências das emissões acumulativas de GEE, segundo o IPCC (2018) mesmo que as emissões forem zeradas o acúmulo na atmosfera das concentrações de CO_2 manterão a probabilidade de aumento da temperatura terrestre.

Segundo as projeções do IPCC (2018) é demostrada a crescente da temperatura global, onde observa-se a tendência de manutenção do aquecimento global em função das emissões acumuladas de GEE mesmo após aplicação de simulações de cenários de mitigação com metas de reduções de emissões mais rápidas.

Figura 5: Modelos do IPCC em respostas da variação da temperatura frente ao aquecimento global para cenários estimados de mitigação das emissões de GEE.



Fonte: IPCC (2018) (tradução MCTI, 2019).

NOTA: A seta tracejada laranja e a barra de erro laranja horizontal demonstram respectivamente a estimativa central e a variação provável de tempo no qual se atinge 1,5°C caso o ritmo atual de aquecimento seja mantido. A pluma cinza à direita do painel demonstra a variação provável das respostas ao aquecimento, computadas com um modelo climático simples, a uma trajetória estilizada (futuro hipotético). Sendo (b) Um cenário de emissões de CO_2 com reduções a partir de 2020 e

estimativa a zero de emissões em 2055 ou 2040; (c) cenário de emissões de CO_2 cumulativas que cheguem a zero em 2055 e 2040; e (d) cenário de forçante radiativa não-CO_2 que pode reduzir a forçante radiativa após 2030 ou não.

O modelo realizado pelo IPCC (2018) confirma outros estudos sobre as respostas das condições atmosféricas, temperatura, e concentrações de GEE, por exemplo segundo, Mauritsen e Pincus (2017) são esperados ainda concentrações de GEE na atmosfera devido as emissões antropogênicas acumuladas, isso se dará mesmo que paralise totalmente a queima de combustíveis fósseis, nos processos de combustão estacionaria ou combustão móvel.

É esperado algum o aquecimento da atmosfera ainda nesse cenário, devido as emissões passadas, isso é possível considerando a vida útil dos GEE na troposfera. Por exemplo o tempo de vida do CO_2 na atmosfera é de 50 a 200 anos (IPCC, 2007).

Segundo Seinfeld e Pandis (2016), as mudanças climáticas podem influenciar a composição química da atmosfera mediante as variações de temperatura, estados de pré-precipitação, mas também nos processos de transporte atmosféricos, na exportação de emissões do meio urbano e rural, nas mudanças da cobertura vegetal, que altera as taxas de deposição seca, provocando impactos em sumidouros de GEE, como exemplo, a redução da capacidade de sequestro de CO_2 devido ao aumento da temperatura dos oceanos.

Ainda, o IPCC (2018) defende que esses cenários estão mais próximos quando se estima um aquecimento global na faixa de entre 1,5 ºC e 2 ºC, podendo comprometer desde o abastecimento de água, produção agrícola e a economia das nações.

Segundo Schaeffer et al. (2018), mediante o aquecimento global existe riscos de vulnerabilidade para o setor de energia, uma vez que as mudanças climáticas quando alteram os padrões de eventos de precipitação, podem afetar a produção de energia elétrica, principalmente a hídrica que corresponde a matriz brasileira, onde o calor excessivo provoca a evaporação mais rápida dos reservatórios. Os riscos das mudanças no clima contam ainda com impactos em diferentes culturas, cana, milho e soja que são usadas na produção de biocombustíveis e alteração dos regimes de ventos na geração de energia eólica.

Segundo Vallero (2014), a acidificação dos oceanos gera impactos na vida marinha, representando danos desde simples algas até às baleias. Essa questão trata-se de uma perspectiva preocupante para conservação do ecossistema oceânico que serve de fonte de alimentos através da pesca.

É previsto que o aquecimento global provocará problemas fitossanitários graves podendo comprometer a produtividade agrícola no Brasil. O efeito das mudanças climáticas será o fator acelerador para o desenvolvimento de doenças e pragas nas plantas, destaca-se a temperatura associada a intensidade da doença de plantas mediante a interferência direta e indireta em cada componente biológico dos patossistemas, acelerando a invasão, a colonização, reprodução e dispersão e sobrevivência de patógenos e favorecendo em alguns casos a manifestação de bactérias que prejudicam o cultivo de frutas e leguminosas (LOPES, 2017; SUN et al., 2019).

Os cenários de altas emissões de GEE no mundo, podem elevar ao aquecimento global superior a 4 °C, em comparação à era pré-industrial (IPCC, 2013). Segundo Nobre, Morengo e Soares (2018), esse cenário de aquecimento global pode elevar a temperaturas médias no Brasil para os 30 °C, o equivalente ao dobro da temperatura média global atualmente, e possibilitar o surgimento de impactos ambientais severos, tais como estados longos de secas, prejuízos na agricultura e condições vulnerareis à saúde da população com a possiblidade de mortandade, principalmente de bebês e idosos devido ao calor excessivo. (NOBRE; MARENGO; SOARES, 2018).

Dos demais efeitos causados pelo aquecimento global e pela intensificação do efeito estufa destaca-se sobre os impactos na saúde pública, uma vez que o aumento da temperatura e das mudanças climáticas extremas podem favorecer o desenvolvimento de patógenos e vetores (KURANE, 2017; WU et al., 2016).

Doenças infectuosas transmitidas por vetores poderão alcançar regiões geográficas antes pouco atingidas, devido ao aumento da proliferação desses vetores em função do aquecimento global e regiões até então mais frias, e assim mais hostis para reprodução desses vetores, quando mais aquecidas transformarão em um ambiente propicio para o desenvolvimento dos vetores (KHASNIS; NETTLEMAN, 2005; Wu et al.,2014). Muitas das doenças infecciosas podem ser redistribuídas, ou

seja, podem surgir em regiões onde até o momento não se desenvolviam, é caso por exemplo, segundo Ebi e Nealon (2016), sobre a incidência da dengue que aumentou 30 vezes nos últimos 50 anos e as faixas geográficas dos vetores primários do mosquito *aedes* estão se expandido no espaço em curto período de tempo, tal fato é favorecido pelo aumento da temperatura.

Modelos sugerem que essas doenças e epidemias serão mais comuns, e que o aquecimento global impactará em transformações na epidemiologia de doenças infecto contagiosas (KURANE, 2010; WU et al.,2016; MENSAH; MARBUAH; MUBANGA, 2017).

Os impactos ambientais do aquecimento global não se limitam ao meio físico e natural, mas também na esfera sócio-ambiental. Segundo King e Harrington (2018) e Russo et al (2019) as populações mais pobres da Terra estarão sujeitas mudanças climáticas mais severas com aquecimento global de 2 ºC, e tal fato produzirá o agravamento das condições de pobreza que por sua estarão relacionadas à ocorrências climáticas extremas, inundações, deslizamentos de terra, ondas de calor, seca, desertificação, escassez de recursos hídricos e de alimentos.

Condições sociais e ambientais severas decorrentes dos efeitos das mudanças climáticas implicarão na necessidade de migrações forçadas de várias populações para outras áreas em busca da sobrevivência, podendo ser dentro do território do país ou até para fora dele (LEVY; PATZ, 2015).

Segundo Brisman, South e Walters (2018) surgem nesse contexto os chamados “refugiados ambientais”, populações sujeitas a migração para outros países, como exemplo são registrados planejamento de migrações das regiões de Kiribati no Oceano Pacífico para Fuji. Esse cenário aponta, ainda, Brisman, South e Walters (2018) podem gerar conflitos em função de barreiras migratórias e disputas territoriais o que podem caracterizar uma forma “*apartheid* climático” associado à intensificação das desigualdades sociais, violações dos direitos humanos, principalmente nas regiões da África e Ásia.

A crise climática global ameaça a maioria das populações e seus direitos humanos (LEVY; PATZ, 2015, IPCC, 2018).

1.2. Política Internacional e Nacional sobre mudanças climáticas e mitigação das emissões de gases de efeito estufa

Diante dos riscos ambientais provenientes do aquecimento global, em função das emissões de GEE, internacionalmente, entre países, foram criadas políticas para propor ações de cooperação comercial para mitigação das emissões de GEE (OLIVEIRA; GURGEL; TONY, 2019).

Destacaram-se conferências políticas e acordos multilaterais junto a diversos países para reduzir as emissões de GEE e promover o desenvolvimento sustentável. Observa-se também no cenário nacional a repercussão dos Estados da Federação frente ao tema.

Em junho de 1972, em Estocolmo, Suécia, foi realizado a Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente (Conferência de Estocolmo) sendo a primeira conferência da ONU que abordou assuntos diretamente relacionados ao meio ambiente do ponto de vista internacional. O resultado foi o início da abordagem e publicidade do assunto sobre preservação ambiental e para criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNFCCC, 2019; KUH, 2018).

Na cidade de Genebra, Suíça, no ano de 1979, aconteceu a Primeira Conferência Mundial do Clima, organizada pela *World Meteorological Organization* – Organização Mundial de Meteorologia (WMO), o evento resultou na criação do Programa Mundial do Clima (World Climate Programme) que atua principalmente no monitoramento e observação das mudanças climáticas, no registro de base de dados para aplicações das informações sobre clima.

Em 1987 foi publicado o Relatório *Our Common Future* – Nosso Futuro Comum, pela WCED (Comissão Mundial das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento) que indicou o tema do desenvolvimento sustentável como meta comum aos países. Destaca-se o objetivo de inserir na agenda política temas ambientais relacionados ao desenvolvimento. Um ano depois, em 1988, foi estabelecido o IPCC mediante o Programa Mundial do Clima da WMO e do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) (UNFCCC, 2017; KUH, 2018).

No ano de 1992 ocorreu a Rio 92 – Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, sediada na cidade do Rio de Janeiro no Brasil, contou com a participação de 117 dirigentes de Estado e representantes de 178 nações (GODOY,2013; UNFCCC, 2017; KUH, 2018).

Em 1997, destaca-se a Terceira Conferência das Partes – COP3, onde ficou definido o Protocolo de Kyoto, primeiro tratado mundial de redução de emissões de gases de efeito estufa, considerando os gases CO_2, CH_4, N_2O, HFCs, PFC e SF_6, o acordo estabeleceu meta de redução para 37 países industrializados e a comunidade europeia (UNCC,2019). No âmbito do Protocolo de Kyoto foi criado o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) nesse Mecanismo definiu-se propostas de metas de redução ou limitação das emissões de GEE para os países desenvolvidos.

Assim, por esse mecanismo, os países industrializados que não consigam atingir suas metas de redução podem comprar Reduções Certificadas de Emissões (RCE), geradas por projetos de redução ou sequestro de carbono nos países em desenvolvimento e utilizá-los para o cumprimento de parte de suas metas.

Logo em seguida, 1998, foi criado o *GHG Protocol Iniciative*, com o objetivo de padronizar as informações de inventários de GEE das organizações com a finalidade de atender as demandas internacionais sobre a preocupação das mudanças climáticas (FGV, 2018).

Contudo, o primeiro documento orientando as organizações para preparação dos inventários de emissões de GEE surge apenas em 2001 com a publicação da primeira edição do *GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard*, abrangendo os gases CO_2, CH_4, N_2O, HFC, PFC e SF_6, seguindo ao Protocolo de Kyoto (FGV,2018).

O marco brasileiro foi mediante o Decreto Legislativo nº 144 de 2002 que ratifica a adesão voluntária do Brasil ao Protocolo de Kyoto.

O Estado brasileiro então implementa o Plano de Ação para preservação e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), com o objetivo de combater às causas do desmatamento de forma integrada com os órgãos ambientais e de segurança.

Em 2005, após adesão da Rússia ao Protocolo de Kyoto criado em 1997, entra em vigor definitivamente o protocolo, uma vez a Convenção exigia a ratificação por, no mínimo, 55 % do total de países-membros da Convenção, responsáveis por, pelo menos, 55 % do total das emissões no ano de 1990 (UNFCCC, 2019).

E, logo, no ano de 2006, inicia-se o MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, definido no artigo 12 do Protocolo de Kyoto, sendo aberto para negociações em julho de 2006 (UNFCCC, 2006; GODOY 2013).

Em 2008, o Estado brasileiro lança um marco relevante, o Plano Nacional sobre Mudanças do Clima, através do Decreto nº 6.263 de 21 de novembro de 2007, que estabeleceu o compromisso nacional para reduzir as emissões de GEE, tendo como destaque o objetivo de combater o desmatamento ilegal, principalmente na Amazônia (BRASIL, 2007).

O Plano também incentiva boas práticas de sustentabilidade como: a reciclagem, investimento em energias renováveis (biodiesel, energia solar e eólica) e tecnologias mais limpas. Convocando o setor privado a colaborar com realização de inventários de GEE (BRASIL, 2007).

A COP 15 ocorreu em Copenhague, Dinamarca em 2009, onde apenas se discutiu a disposição de alguns países membros em reduzir as emissões de GEE e a preocupação em travar o aquecimento global estabelecido pelo IPCC em um máximo de 2 ºC acima dos níveis pré-industriais (FGV,2018; KUH,2018).

Em 2009 é instituída no Brasil, a Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC) mediante a Lei 12.187 de 29 de dezembro de 2009. A saber, a PNMC estabelece em seus princípios, objetivos, diretrizes conforme o seu Art. 4º: “a redução das emissões antropogênicas de gases de efeito estufa em relação às suas diferentes fontes” (BRASIL, 2009).

Observa-se que o Estado brasileiro nas diretrizes da PNMC estabelece metas concretas para colaborar com a redução das emissões de GEE, conforme o Artigo 5º Inciso VI - a promoção e o desenvolvimento de pesquisas científico-tecnológicas, e a difusão de tecnologias, processos e práticas orientados a:

> a) mitigar a mudança do clima por meio da redução de emissões antropogênicas por fontes e do fortalecimento das remoções antropogênicas por sumidouros de gases de efeito estufa;

> b) reduzir as incertezas nas projeções nacionais e regionais futuras da mudança do clima;
> c) identificar vulnerabilidades e adotar medidas de adaptação adequadas;

Destaca-se ainda o incentivo para contribuir na aplicação das diretrizes da PNMC conforme previsto em seu artigo 5º Inciso XIII - o estímulo e o apoio à manutenção e à promoção:

> a) de práticas, atividades e tecnologias de baixas emissões de gases de efeito estufa;
> b) de padrões sustentáveis de produção e consumo.

No âmbito dos estados brasileiros destacou-se que alguns Estados do Sudeste e Sul definiram dispositivos legais para apresentação de inventários de GEE, de forma voluntária nos Estados de Minas Gerais, Paraná, São Paulo e mandatória no Rio de Janeiro.

Em Minas Gerais, o decreto 45.229 de 3 de dezembro de 2009, regulamenta ações para contribuir ao combate às mudanças climáticas e apresenta a orientação para gestão de emissões de GEE. Estabelece, ainda, o registro voluntario de inventários de gases de efeito estufa para os empreendimentos em Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2009).

Em São Paulo, a CETESB, também regulamenta a elaboração de inventários de GEE, mediante a Decisão de Diretoria nº 254/2012 (CETESB, 2012)

No Paraná, a Publicação da Lei nº 17.133/2012, estabelece diretrizes e instrumentos para uma Política estadual sobre Mudanças do Clima. (PARANÁ, 2012).

No Estado do Rio de Janeiro, área de estudo da presente dissertação, foi instituída a Política Estadual de Mudanças Climáticas mediante a Lei Estadual de nº 5.690, de 14 de abril de 2010.

Após, no ano de 2012 destacou-se a criação da Resolução INEA n º64/2012 do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), que dispõe sobre a apresentação de inventários de emissões de gases de efeito estufa para fins de Licenciamento Ambiental, dispositivo legal, com obrigatoriedade para empresas de maior potencial poluidor e considera a importância do Estado em conhecer de forma quantitativa as emissões de GEE, a fim de proporcionar programas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas (INEA, 2012).

A Resolução INEA (2012) também específica as orientações para elaboração dos inventários e sua verificação por terceira parte, com base no Programa brasileiro *GHG Protocol* da Fundação Getúlio Vargas e da Norma da ABNT NBR ISO 14064-1:2007. Os organismos verificadores, empresas de auditorias, devem ser credenciadas pelo INMETRO para realizar a declaração de verificação dos inventários das atividades em licenciamento ambiental (INEA, 2012; FGV,2018; ABNT, 2007).

A Resolução citada acima foi criada com base na Resolução 22 de Julho de 2007 da Secretaria de Estado do Ambiente e da extinta Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA) que determinava a inclusão de inventários de emissão de GEE nos procedimentos de Licenciamento Ambiental. (INEA, 2012)

O marco para implantação da Resolução INEA nº064:2012 foi à Política Estadual sobre Mudança do Clima, Lei nº 5690 de 14 de abril de 2010 em seu artigo 7º inciso X, condicionando o deferimento de Licenças ambientais de Operação de empreendimentos à apresentação do Inventário de Gases de Efeito Estufa (INEA, 2012)

A obrigatoriedade de apresentação de inventários das emissões de GEE restringe aos empreendimentos enquadrados como médio e alto potencial poluidor mediante o Decreto Estadual nº 42159/2009. Mas no artigo 3 inciso 3, a saber, prevê exigências para empreendimentos não enquadrados no referido decreto (Rio de Janeiro, 2009):

> ’§ 3º - No caso das atividades não previstas no artigo 3°, o INEA poderá requisitar o inventário de emissões fundamentado em parecer elaborado pela área técnica responsável do INEA.

A Resolução como informado estabelece a metodologia conforme o artigo 6 e define que os empreendimentos devem expressar obrigatoriamente as emissões de escopo 1, fontes diretas, e escopo 2, fontes indiretas, conforme orientações do *GHG Protocol*.

O INEA (2012), no mesmo ano, publicou em Diário Oficial do Estado a Resolução INEA nº 65 de 14 de dezembro de 2012, que dispõe sobre a apresentação de plano de mitigação de emissões de GEE para fins de licenciamento ambiental estadual.

Os empreendimentos compromissados com seus respectivos planos de mitigação deverão apresentar um percentual de redução em relação à data base do inventário de referência como sendo sua meta de redução de GEE no período.

O Estado do Rio de Janeiro ainda prevê a obrigatoriedade passiva, implicações de sanções administrativas previstas no dispositivo legal da Lei Estadual de Crimes Ambientais, Lei nº 3467 de 14 setembro de 2000, para casos do não atendimento dos compromissos assumidos no Plano de Mitigação (INEA,2012)

No ano de 2015, em Paris, França, foi realizada a COP21 (Vigésima Primeira Conferência das Partes). O evento resultou no Acordo de Paris com objetivo de buscar cooperação mundial em manter o aumento da temperatura média global abaixo dos 2 ºC e motivar esforços para limitar o aquecimento global em 1,5 ºC até o ano de 2030. O Acordo estabeleceu que as partes comprometidas devem apresentar sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) (OLIVEIRA; GURGEL; TONRY,2019; UNFCCC, 2015).

Segundo Keohane e Oppenheimer (2016), o Acordo de Paris, COP 21, da UNFCCCC, marcou o início nas negociações em prol de metas legais para redução das emissões de GEE nos estados-nações, sendo essas mais audaciosas do que o Protocolo de Kyoto. No entanto gerou expectativas sobre as decisões das lideranças políticas da OCDE e das grandes empresas em cooperar nas ações de mitigação do aquecimento global.

O governo do Estado Brasileiro na época aderiu ao acordo da COP21, apresentando a meta de redução para as suas emissões de GEE. Na NDC brasileira ficou assinado o compromisso de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37 % em relação aos níveis do ano base (2005) até 2025 (BRASIL, 2016)

E ainda com uma contribuição indicativa subsequente de reduzir as emissões de GEE em 43 % tendo como base os níveis do ano de 2005, até 2030 (BRASIL, 2016).

As principais medidas propostas na NDC, Brasil (2016) foram:

- Aumentar a contribuição de bioenergia sustentável, biocombustíveis, biodiesel e etanol na matriz energética para aproximadamente 18 % de até 2030;
- Atingir a participação de 45 % de energias renováveis (biomassa, eólica, solar) na composição da matriz energética em 2030;

- Promover novas padrões de tecnologias mais limpas e ampliar medias de eficiência energética e de infraestrutura de baixo carbono no setor industrial;
- Restaurar 12 milhões de hectares de floresta;
- Fortalecer o cumprimento do código florestal e,
- Desmatamento ilegal da Amazônia em nível zero.

Em 17 de outubro de 2017, o Estado Brasileiro mediante o decreto 9172/2017, instituiu o Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE). O SIRENE capitaneado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) trata-se de um sistema de informações de GEE que recebe os inventários setoriais das organizações a nível nacional. O sistema tem objetivo de disponibilizar os resultados do inventário nacional de emissões caracterizando fontes, remoções e sumidouros. O SIRENE solicita os inventários das organizações de forma voluntaria (BRASIL, 2017).

Conforme apresentado, anteriormente, alguns estados brasileiros[7] aderem no processo de Licenciamento Ambiental, a elaboração de inventários de GEE, estimulando as empresas e indústrias a participarem de alguma forma dos objetivos da Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC) mediante a Lei 12.187 de 29 de dezembro de 2009 por meio de publicidade dos seus inventários (BRASIL, 2009).

A PNMC solicita a colaboração das organizações para realização das estimativas de GEE em aderência ao estabelecido no Inciso XII do Artigo Art. 6º que define os instrumentos da Política Nacional sobre Mudança do Clima (BRASIL,2009):

> XIII - os registros, inventários, estimativas, avaliações e quaisquer outros estudos de emissões de gases de efeito estufa e de suas fontes, elaborados com base em informações e dados fornecidos por entidades públicas e privadas;

Os inventários corporativos das organizações servem como um tipo de diagnóstico do potencial impacto climático de uma organização em dado período. Isto auxilia na gestão das emissões dos GEE e nos planos de mitigação. (ABNT, 2007; FVG, 2018; GRI, 2019).

---

[7] Os estados do RJ, MG, PR e SP regulamentam a apresentação pelas organizações dos inventários de emissões de GEE, sendo o no RJ para algumas atividades industriais é obrigatório para o licenciamento ambiental.

1.3. Inventários de Gases de Efeito Estufa, Normas, Fundamentos e Aplicações

Segundo orientações do IPCC as emissões de GEE são calculadas com base no em fatores de emissões específicos para cada tipo de gás emitido em dada atividade e seus respectivos potenciais de aquecimento global (GWP) (IPCC, 2006).

O Fator de emissão expressa um valor de referência padrão que relaciona a quantidade das emissões GEE, em massa, para uma determinada atividade medida ou insumo em massa ou volume, desde que gerem GEE (IPCC, 2007).

De acordo com a ABNT (2007) o fator de emissão ou remoção de GEE é um dado valor que relaciona e converte determinado consumo de produto ou realização de uma atividade em quantidade em massa do GEE analisado.

O Programa *GHG Protocol* disponibiliza gratuitamente as ferramentas de conversão e contabilização das emissões de GEE onde fornecem os fatores de emissões apropriados para cada tipo de atividade ou insumo que podem produzir emissões de CO_2, CH_4, N_2O, SF6 HFCs e PFCs (GHG PROTOCOL, 2017).

No Programa *GHG Protocol* ainda são quantificadas as emissões de CO_2 biogênico, somente para fontes específicas, essas devem ser contabilizadas de forma separada dos outros gases e não são somados aos resultados das emissões antropogênicas inventários de GEE. O CO_2 biogênico é um CO_2 de origem biológica, originado da transformação do carbono presente ou estocado na biomassa (vegetal, animais, algas etc.) em CO_2. Considerando que esse carbono como produto da fotossíntese, processo que removeu CO_2 da atmosfera e armazenou C na biomassa, logo essas emissões de CO_2 biogênico não geram impacto na concentração de GEE da atmosfera, por tratar-se do ciclo natural do carbono.

A Norma ABNT NBR ISO 14064:2007 orienta que os resultados das estimativas métricas devem ser expressos em termos de concentração de dióxido de carbono equivalente ($CO_{2\ equivalente}$) (ABNT, 2017).

O $CO_{2\ equivalente}$ é um termo quantitativo definido pelo IPCC que define a concentração de GEE equivalente à concentração de CO_2 que contribuirá na mesma proporção para um forçamento radiativo positivo, com uma absorção da radiação IV e

intensificação do efeito estufa na troposfera, em um determinado período (IPCC, 2013; ABNT, 2007)

Para a quantificação das emissões de GEE são considerados os dados da atividade emissora, fatores de emissões o potencial de aquecimento global, em função do tipo de fonte os cálculos e a equação são adaptados para determinar as emissões de GEE especificas de determinada atividade.

No contexto deste trabalho, entende-se por “dados de atividade” como sendo exclusivamente os dados que podem ser aplicados diretamente a fatores de emissão a fim de estimar as emissões de uma fonte específica, por exemplo, consumo de combustível, de energia elétrica, distância percorrida por automóveis, quantidade de resíduo gerado e tratado, consumo de HFCs entre outros (FGV, 2018).

A equação básica é definida conforme a seguir (IPCC, 2006, GHG PROTOCOL, 2017):

$$^{E}CO_{2equivalente} = A * {}^{FE}GEE * GWP$$

Onde:

- A = expressa o dado quantitativo de determinada fonte de GEE na sua fonte.
- ^{FE}GEE = Fator de emissão específico para o GEE em determinada atividade.
- GWP = Potencial de Aquecimento Global fator usado para converter as emissões de GEE em $CO_{2equivalente}$.
- $^{E}CO_{2equivalente}$ = Emissões em toneladas de $CO_{2equivalente}$.

O conceito dessa equivalência considerou o parâmetro Potencial de Aquecimento Global (GWP), convencionado pelo IPCC, no qual integra a definição do Forçamento Radiativo para um determinado cenário temporal de vida, ou permanência na atmosfera, para um tipo de GEE, ou seja expressou a intensidade de irradiação de uma unidade de massa de GEE emitida para atmosfera gerando calor em um período de tempo. Os valores de GWP dos GEE são comparados ao GWP do

CO_2, quanto maior o GWP é maior o potencial de 1 tonelada (t) de um tipo de GEE em manter o calor na atmosfera em valores comparados à 1 t CO_2 no mesmo período. Esse potencial para demostrar a equivalência foi convertido em unidade de CO_2, que irradiaria o calor nas mesmas condições, e assim dessa forma é valorado como CO_2 equivalente (ABNT, 2007; IPCC,2013).

Mediante o GWP se quantifica: as potências radiativas dos GEE, seu potencial para o aumento da temperatura, durante um determinado período na atmosfera, e oferece valores relativos ao comportamento do gás de referência CO_2 (IPCC, 2013).

Normalmente, a emissão equivalente a CO_2 é obtida multiplicando a emissão de GEE pelo seu potencial de aquecimento global (GWP) para um cenário de tempo de 100 anos (IPCC, 2013). Na tabela 2 apresenta alguns valores de GWP para alguns dos principais GEE para um cenário de 100 anos. (ABNT, 2007; IPCC, 2007).

Tabela 2 Valores de GWP para os principais GEE.

Tipo de GEE	**Gás (1 t)**	**Tempo de Vida (anos)**	**GWP (100 anos)**
Dióxido de Carbono	CO_2	50-200	1
Metano	CH_4	12	21
Oxido nitroso	N_2O	120	298
Hexafluoreto de Enxofre	SF_6	3200	22.800
Hidrofluorcarbonos	HFC -23	264	14.800
Perfluorcarbonos	PFC-14	50.000	7.390

Fonte: IPCC, 2007.

Para os objetivos da contabilização das emissões de GEE em todos os setores, o IPCC recomenda que os resultados das estimativas de GEE sejam convertidas em toneladas métricas de $CO_{2\ equivalente}$, considerando que o CO_2 é o maior gás traço

presente na atmosfera, sendo usado a conversão da quantidade de emissão do GEE pelo GWP em $CO_{2\ equivalente}$ (ABNT, 2007; IPCC, 2007).

Os inventários de GEE, no Brasil são elaborados com base no Programa Brasileiro *GHG Protocol* que teve o apoio do Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas que disponibiliza sua ferramenta de cálculo com base nos fatores de emissões sugeridos pelo IPCC e organizações setoriais (FGV,2018).

O Programa Brasileiro *GHG Protocol* foi inspirado no *GHG PROTOCOL*, criado em 1998 pelo *World Resources Institute* (WRI)[8] e *World Business Council For Sustainable Development* (WBCSD)[9], com o objetivo de desenvolver um padrão de contabilização e comunicação de GEE e promover sua adoção em larga escala. O seu processo de padronização teve a participação multilateral de outras organizações sob forma de consulta como o *World Wide Fund for Nature WWF*[10] (FGV, 2018).

O GHG Protocol ofereceu treinamentos para empresas contabilizarem suas emissões, voluntariamente, essas experiências obtiveram bons resultados nos países como Brasil, China, Índia, México e Filipinas (HICKMANN, 2017).

A versão nacional do Programa GHG teve suas devidas adaptações, mas manteve a aderência e compatibilidade a Norma ISO14064:2007 e as referências cientificas do IPCC (ABNT, 2007; FGV,2018).

Com objetivo de definir e preservar os princípios técnicos, éticos e de transparência para elaboração e comunicação dos inventários de GEE foi instituída a Norma ISO 14064:2007 dividida em 3 series, sendo a primeira para elaboração dos inventários, a segunda para planos de mitigação e a terceira de verificação (ABNT,2007; INEA, 2012).

O inventário de GEE deve apresentar os seguintes critérios, de tal forma que assegure a veracidade e precisão das estimativas das emissões (ABNT,2007):

---

[8] WRI – Instituição de Pesquisa Global com a atuação em ais de 50 países, atua em parceria com governos, empresas, academia e sociedade civil.

[9] WBCSD – Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável é uma organização liderada por representantes de mais 200 empresas líderes que apoiam e orientam a contabilização e reporte consistente para os inventários de emissões GEE corporativos.

[10] WWF – Fundo Mundial para Natureza é uma organização não governamental que atua nas áreas de recuperação e preservação ambiental, atua em mais de 100 países e participa de ações para redução de impactos ambientais no setor coorporativo.

- Relevância – seleção das fontes GEE com maiores emissões, dos dados e metodologias.
- Integridade – abrangência de todas as fontes de GEE.
- Consistências – possibilidades de comparações significativas.
- Precisão – redução máxima viável de incertezas.
- Transparências – informações suficientes e apropriadas.

Conforme a norma ISO 14064-1 e *GHG Protocol* as estimativas de emissões de GEE devem abordar os resultados das emissões conforme a divisão das fontes por escopo, sendo definidos especificações técnicas em 3 escopos:

> Escopo 1 – Emissões diretas provenientes de processos de Combustão Estacionaria, Combustão Móvel, Processos Industriais, Emissões Fugitivas, Resíduos Sólidos e Efluentes Líquidos, Fugitivas, Agrícolas e Mudanças no uso do Solo.
>
> Escopo 2 – Emissões indiretas calculadas pela compra ou consumo de energia elétrica. O Escopo 2 pode ser medido por duas formas de abordagens:
>
> - baseada na localização (*location-based*) que trata da aquisição de energia de um determinado sistema de geração e distribuição (*grid*). Os fatores de emissões serão inerentes a esse sistema.
> - baseada na escolha de compra *(market-based*) que trata da aquisição de energia de uma determinada fonte escolhida. Os fatores de emissões serão inerentes a cada fonte de geração especifica a escolha da organização na compra ou aquisição de energia.
>
> Escopo 3 - Emissões *Upstream*: emissões indiretas de GEE relacionadas a bens e serviços comprados ou adquiridos. E, Emissões *Downstream*: emissões indiretas de GEE relacionadas bens e serviços que não foram comprados ou adquiridos.
>
> As Emissões *Upstream* compreendem: (1) Bens e Serviços comprados; (2) Bens de capital; (3)Atividades relacionadas com combustível e energia não inclusas nos Escopos 1 e 2; (4) Transporte e distribuição (*upstream*), (5) Resíduos gerados nas operações; (6) Viagens a negócios, (7) Deslocamento de funcionários (casa-trabalho) (8) Bens arrendados (a organização como arrendatária).
>
> As emissões de *Downstream* compreendem: (9) Transporte e distribuição (*downstream*); (10) Processamento de produtos vendidos; (11) Uso de bens e serviços vendidos; (12) Tratamento de fim de vida dos produtos vendidos; (13) Bens arrendados (a organização como arrendadora); (14) Emissões das operações de franquias; (15) Emissões das operações de investimentos (incluindo investimentos de capital, investimento de dívida e financiamento de projetos) no ano inventariado, não incluídas nos Escopos 1 e 2.

O mais recente Inventario Nacional de Emissões de GEE foi reportado em 2017, a 4ªedição da Estimativas de GEE Nacional com referência as contabilizações

do ano de 2015. Os resultados do perfil de emissões subdivido por setores e seus respectivos gases é apresentado nas figuras (SIRENE, 2019).

Segundo as informações reportadas no sistema SIRENE as emissões de GEE no Brasil apresentadas no ultimo inventário publicado em 2017, referente as emissões de 2015, mostra que a maior contribuição de fontes para emissões antropogênicas de GEE foram os setores de energia (queima de combustível fóssil predominantemente), agropecuária e mudança do uso da terra e florestas (desmatamento), conforme a figura da Participação de emissões e, $GgCO_{2equi}$ por setor.

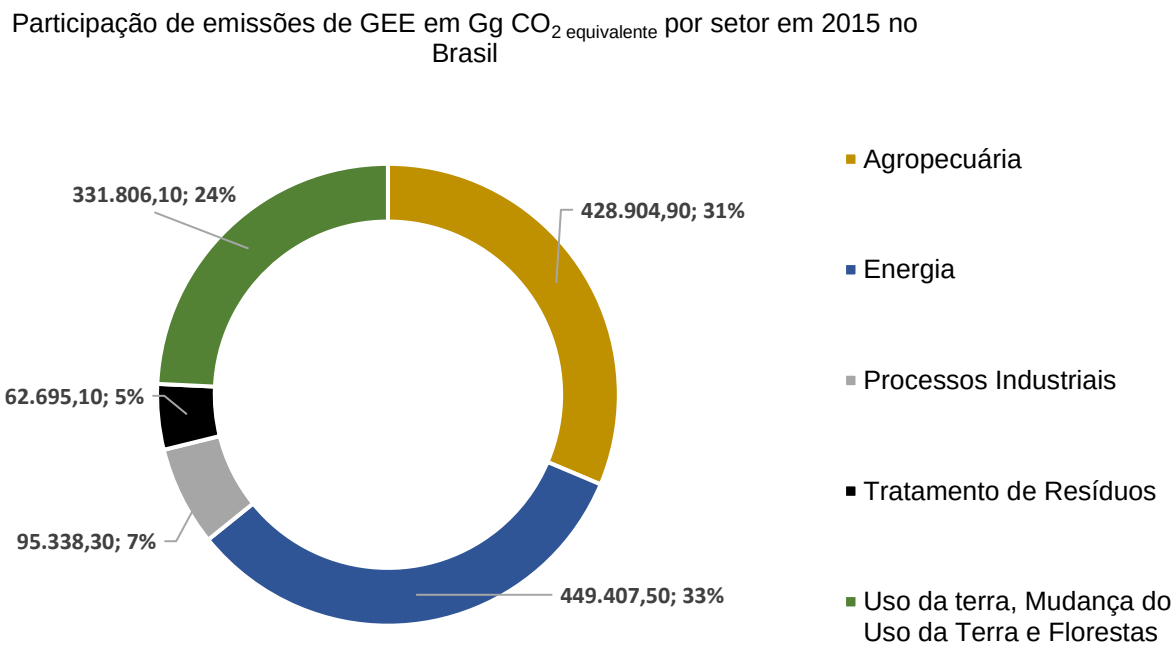
O setor industrial onde se insere o objeto da pesquisa deste trabalho, em 2015 contribuiu em apenas 7 % das emissões de GEE no cenário nacional, o equivalente a 95.338,30 Gg CO_2, tratamento de resíduos com 5 % correspondente a 62.695,10, mudança e uso do solo 24 %, emissões de 331.806,10 Gg CO_2, e as maiores contribuições foram da agropecuária com 31 %, 428.904,90 Gg CO_2 e energia e consumo de combustíveis fosseis, 33 %, 449.407,50 Gg CO_2 conforme demostrado na figura 6.

O cenário brasileiro possui uma peculiaridade nas emissões onde o indicador das emissões do setor industrial é bem inferior a agropecuária, a mudança do uso do solo e a energia. Isso se deve ao fator de que as atividades econômicas predominantes são do setor primário: agricultura, mineração, pesca, pecuária e extrativismo.

Considerando como exemplo, merece atenção as atividades agropecuárias e a forma do uso e ocupação do solo, associadas as práticas ilegais de desmatamento de florestas por meio de queimadas, como ocorre no bioma Amazônia. Esse aspecto é um dos desafios no qual o Brasil deve sempre considerar e evitar.

Recentemente um quarto (1/4) do desmatamento ocorreu nessas florestas, resultando nas emissões de pelo menos 200 milhões de toneladas de CO_2 (AZEVEDO; RAMOS; MOUTINHO, 2018).

Figura 6: Participação de emissões de GgCO2 equivalente por setores: Agropecuária, Energia, Processos Industriais, Tratamento de Resíduos, Uso da Terra, Mudanças do Uso da Terra e Florestas. Inventário Nacional ano 2015 Brasil.



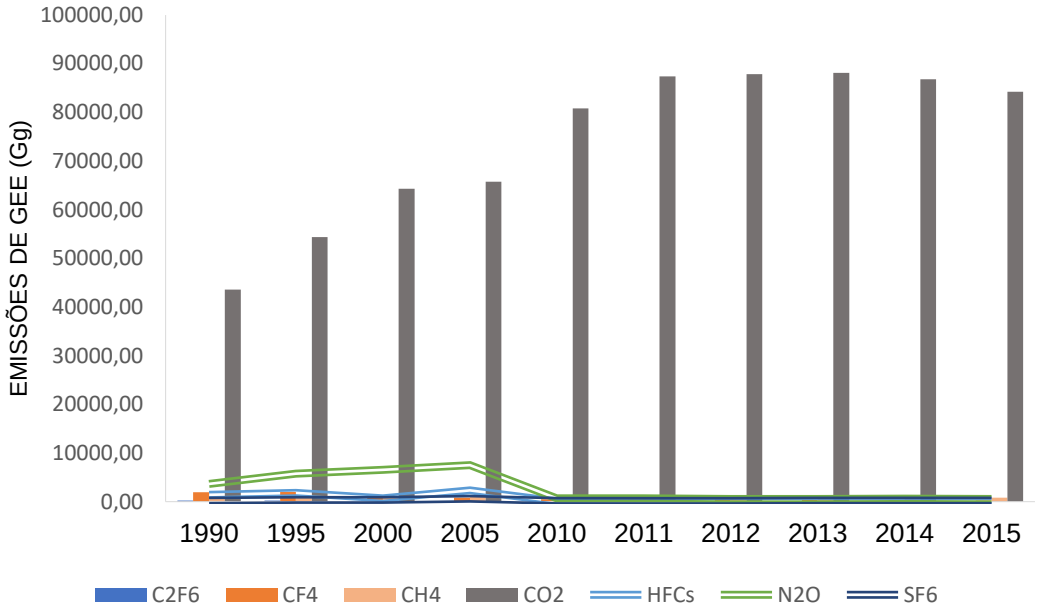
Fonte: Adaptado SIRENE (2019)

A seguir as figuras 7, 8 e 9 apresentam séries históricas das emissões de CO_2, CH_4, N_2O e HFC com escopos econômicos da indústria, do tratamento de resíduos e energia, considerando que cada segmento possuiu suas particularidades nas fontes de emissões de GEE.

Observando a figura 2 verifica-se a série Histórica das Emissões de GEE em unidade giga grama (Gg) no setor industrial entre os anos de 1990 a 2015 no Brasil, onde há uma predominância das emissões de CO_2 em comparação aos outros GEE.

No inventário nacional, setor de Processos Industriais foram considerados subsetores de produtos minerais, produção de metais, indústria química além de produção e utilização de HFCs, PFCs e SF_6.

Figura 7: Série Histórica das Emissões de GEE(Gg) no setor industrial entre 1990 a 2015 no Brasil.

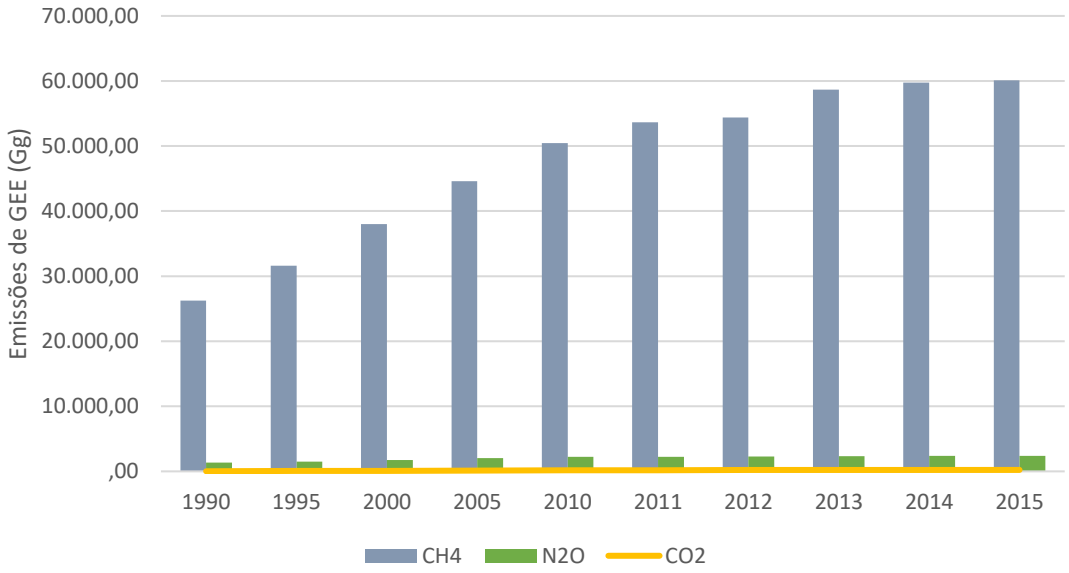


Fonte: Adaptado SIRENE (2017).

As emissões de GEE provenientes do tratamento de resíduos sólidos e de efluentes líquidos podem ocorrer por decomposição em aterros sanitários (CO_2,CH_4, e N_2O), processo de compostagem de resíduos orgânicos alimentares (CO_2, CH_4), a emissão decorrente da incineração de resíduos perigosos (CO_2,CH_4, e N_2O), tratamento de efluentes anaeróbicos (CH_4 e N_2O), manejo e despejo de animais (CH_4 e N_2O) entre outros.

Na Figura 3, os resultados expressam como característica o predomínio das emissões de CH_4 e N_2O. O fato é justificado pela consequência da degradação anaeróbica da fração orgânica do resíduo disposto em aterros sanitários e que liberam na atmosfera quantidades significativas de CH_4 e quantidades menores de CO_2 (SIRENE, 2015).

Figura 8: Série histórica das Emissões de GEE (Gg) no setor de Tratamento de Resíduos entre 1990 a 2015 no Brasil.



Fonte: Adaptado SIRENE (2017)

Outro setor de destaque cujas emissões também são associadas ao setor industrial e ao tratamento de resíduos é o de energia. A Figura 9 apresenta a Série Histórica das Emissões de GEE (Gg) entre 1990 a 2015, no qual as estimativas de emissões são maiores em termos de CO_2. Isto deve-se ao conteúdo de C no perfil da matriz energética nacional.

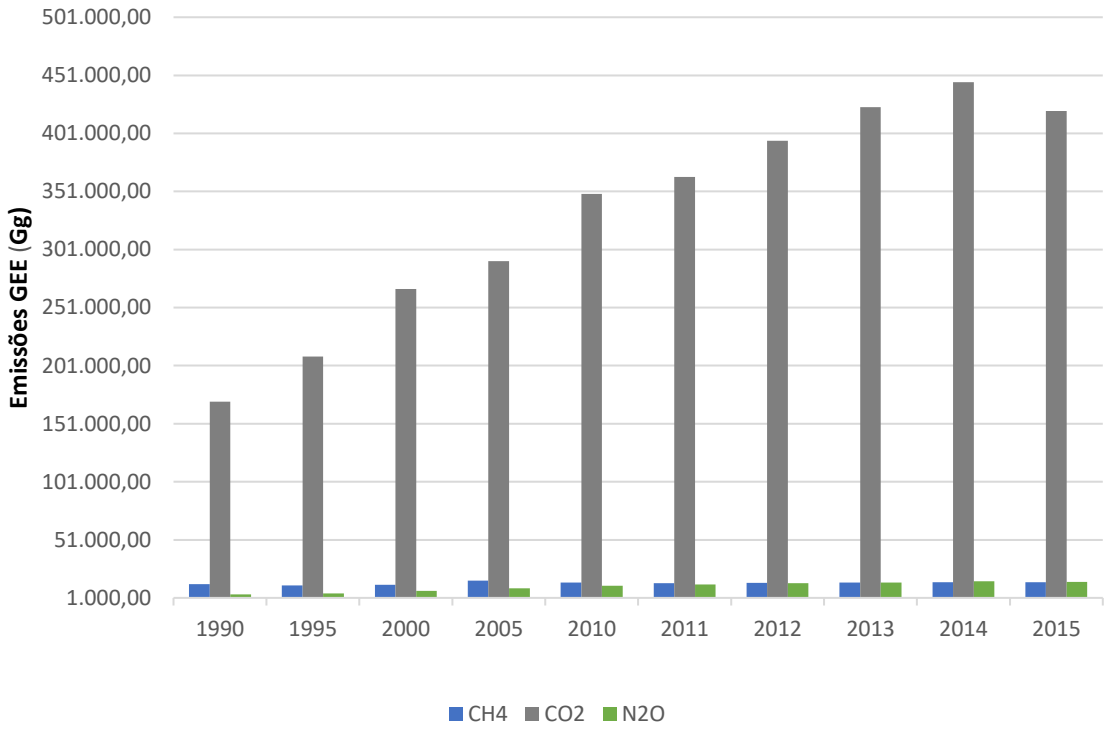
No setor de energia foram inventariadas todas emissões antropogênicas da produção, transformação e ao consumo de energia que abrange as emissões resultantes da queima de combustíveis fósseis, quanto as de distribuição e consumo (MTCI, 2018).

As emissões de CO_2 predominam devido a oxidação do carbono contido nos combustíveis fósseis (SIRENE, 2018).

Cabe considerar que a matriz energética é um fator determinante para o perfil das contribuições das fontes de GEE em um país. Por exemplo, segundo o EPE (2018), a matriz energética no Brasil é constituída predominantemente do consumo de petróleo e seus derivados com 36,4 %; derivados de cana, 17 %; gás natural, 13 %; hidráulica, 12 %. Essa característica da matriz brasileira é extremamente

determinante, considerando que as fontes não renováveis de energia, petróleo e derivados, são as maiores responsáveis pelas emissões de CO_2, CH_4 e N_2O (EPE, 2018; SIRENE,2018).

Figura 9: Série histórica das emissões de GEE (Gg) entre 1990 a 2015 Consumo de Energia no Brasil.



Fonte: Adaptado SIRENE, 2017.

Segundo a Norma ISO14064-2 (2007) o primeiro passo para a quantificação de emissões e remoções de GEE é a identificação dos gases relevantes para cada fonte, reservatório ou sumidouro.

O levantamento das emissões dos gases por setores auxilia na compreensão do cenário nacional das emissões de GEE e sua contextualização os cenários individuais da indústria gráfica objeto da pesquisa.

A organização ou empresa que tem como objetivo investir em processos produtivos de baixo carbono em aderência ao artigo 5 da PNMC precisa da elaboração

dos inventários de GEE, da gestão e a análise desses resultados e de um plano de mitigação (BRASIL, 2012; ABNT, 2017; FGV,2018).

O Programa Brasileiro *GHG Protocol* disponibiliza os registros de inventários de GEE das organizações que participam voluntariamente do programa. Os inventários anuais são publicitados e as emissões totais expressas em toneladas de CO_2 equivalente. A Tabela 3 apresenta a contabilização de emissões de algumas atividades industriais no Brasil nos períodos de 2017, considerando as emissões totais por espoco.

Tabela 3: Emissões de GEE reportadas por escopo de algumas atividades econômicas no Brasil referente ao ano de 2017 e publicadas no Programa GHG *Protocol* da FGV.

Emissões de GEE por setor (Brasil) Ano 2017		**Total das Emissões de tCO_{2eq}.**		
Organização	**Tipologia industrial**	**Escopo 1**	**Escopo 2**	**Escopo 3**
Antilhas Embalagens Editora Gráfica S/A	Gráfica e Editora	391,18	695,76	114,53
Posigraf	Gráfica e Editora	1.068,95	1552,47	1390,44
Klabin	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	709.560,47	149.492,29	175.368,08
CSN	Siderurgia	14.577.163,65	245.959,84	787.506,33
Petrobras	Extração de petróleo e gás natural	65.650,523,19	357.531,89	456.801.773,20
Kinross Brasil Mineração	Mineração (ouro)	174.131,59	63.840,29	2.170,51
Sanepar	Saneamento (tratamento de água e esgoto)	990.456,15	65.012,13	Não reportado

Fonte: FGV (2019).

A Ferramenta do *GHG Protocol* é grande aliada para organizações promoverem seus inventários de GEE. A preocupação com o aquecimento global levantada na COP21 da UNFCCCC, que gerou os acordos do clima e as NDC para os países membros estimulou as ações de melhoria nos cálculos de GEE pelo *GHG Protocol*, como é sabido são os relatórios de GEE das organizações que compõe os inventários nacionais. Essa contribuição favorece os governos nacionais sobre o melhor conhecimento das suas fontes de GEE com maior potencial de mitigação e planejar ações de comprimento das NDC (HICKMANN, 2017).

Cabe destacar esses inventários do Programa *GHG Protocol* são voluntários. Existe no mercado uma forma de auto regulação para cooperação frente ao aquecimento global ou uma expectativa de economia internacional de baixo carbono que estimula as empresas a realizarem seus inventários (HICKMANN, 2017).

A norma NBR ISO 14064-2:2007 “Especificação e orientação a projetos para quantificação, monitoramento e elaboração de relatórios das reduções de emissões ou da melhoria das remoções de gases de efeito estufa*”* trata da orientação para planos de mitigação que são elaborados com base de comparação dos inventários anuais de GEE a um determinado ano base ou cenários de referência.

A norma orienta critérios básicos para implantação de projetos de créditos de carbono por remoção ou redução em termos t CO_2eq, com referência as diretrizes de validação para adesão a projetos do MDL do Protocolo de Kyoto (ABNT, 2007).

A normatização colabora significativamente para evitar as práticas de *greenwashing*, ao permitir e cobrar a auditoria das informações de GEE, prezando por critérios técnicos. Uma das formas é a orientação para que a organização identifique todas as suas fontes de emissões.

A prática de *greenwashing*[11], segundo Lovato (2013) é a intensão de uma organização de transmitir uma imagem de reputação comprometida com a questão ambiental, porém na forma de falácia “verde”, sem que haja na organização de fato ações concretas sobre o tema.

[11] Termo, da língua inglesa que expressa pintura verde e expressa as publicidades das organizações sobre qualidades ambientais falsas.

No Brasil observa-se que por méritos do Programa Brasileiro *GHG Protocol* e das exigências dos Órgãos Ambientais, quanto a obrigatoriedade da validação dos inventários de GEE por auditoria de terceira parte, devidamente credenciadas pelo INMETRO, práticas de *greenwashing* são inibidas (ABNT, 2007; INEA, 2012; FGV, 2018).

A importância dos inventários de GEE além da sua colaboração para mitigação dos impactos e exigências legais dentro do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISMANA)[12] está aderente também aos Relatórios corporativos de Sustentabilidade, sendo as emissões de GEE um dos indicadores ambientais para os Relatórios de Sustentabilidade do *Global Report Initiative* (GRI). O GRI é uma organização que colabora na publicidade e comunicação internacional de Relatórios de Sustentabilidade (BRASIL, 2017; GRI,2018).

O GRI fundado em 1997, Boston (EUA), com raízes em aspectos financeiros, mas sem fins lucrativos, é uma organização internacional que colabora com governos e organizações na compreensão e identificação dos impactos ambientais, sociais e financeiros das empresas afins de publicidade dos Relatórios de Sustentabilidade (GRI, 2018).

O GRI propõe às empresas, uma vez que a comunicação de Relatórios de Sustentabilidade é voluntaria, que elaborem seus Relatórios de Sustentabilidade com base em Padrões (*standards*). Nesses existem inúmeros *standards* definidos em forma modular e em série. A série 300 é usada para os relatos de aspectos ambientais (GRI, 2018).

Em destaque ao tema de Emissões Atmosféricas e Energia e Mudanças Climáticas, objeto do presente trabalho, encontra-se a aderência nos padrões GRI *Standards* 302 que trata do consumo de Energia e o GRI *Standards* 305 que trata das emissões atmosféricas de GEE e de outros poluentes tais como material particulado,

[12] SISNAMA - O Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA, foi instituído pela Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto 99.274, de 06 de junho de 1990, sendo constituído pelos órgãos e entidades da União, dos Estados, do Distrito Federal, dos Municípios e pelas Fundações instituídas pelo Poder Público, responsáveis pela proteção e melhoria da qualidade ambiental é formado pelo Orgão Superior Conselho do Governo, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Ministério do Meio Ambiente(MMA) e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis -IBAMA orgãos ambientais locais (estadual e municipal).

óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio e substâncias que destroem a camada de ozônio.

Segundo o GRI (2018), a contabilização da energia ajuda a compreender o seu uso mais eficiente fornecendo mecanismos para organização poder optar pelo uso de energias renováveis e colaborando assim, com ações em processos para gerar operações de baixo carbono, fornecendo em parte uma forma de reação sobre aquecimento global, mudanças climáticas e reduzindo a sua pegada de carbono.

No padrão GRI 305 são definidas as diretrizes para o relato do indicador ambiental de emissões atmosféricas. Este estabelece que as informações de GEE devem também seguir rigorosamente as determinações e critérios do *GHG Protocol* e da Norma ISO 14064:2007. Essa medida, de certo modo, como citado anteriormente visa combater o *greenwashing*, no tema de emissões (ABNT, 2007; GRI, 2018).

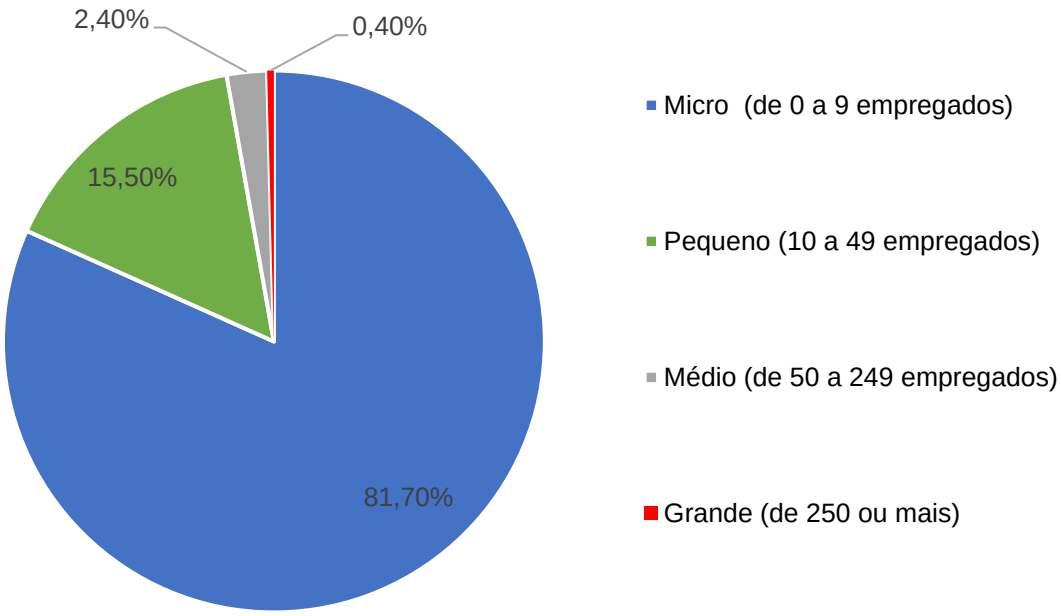
1.4. Perfil do setor da indústria gráfica brasileira, aspectos ambientais, operacionais e econômicos.

Neste tópico apresenta-se o perfil da indústria gráfica brasileira objeto do estudo de caso, considerando informações mais recentemente divulgadas pelas organizações: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Associação Brasileira da Indústria Gráfica (ABIGRAF Nacional), Federação das Indústrias do Rio de Janeiro (FIRJAN; SIGRAF, 2018) e CETESB.

Em 2018, a indústria gráfica brasileira era composta por 19.142 empresas com perfil representado predominantemente por micro e pequenas empresas que somadas são 97 % do setor, conforme a Figura 10. A participação da indústria gráfica brasileira no PIB nacional foi de 0,3 % e no PIB da indústria de transformação foi de 2,8 % (ABIGRAF, 2019).

Segundo informações do IBGE (2018) no período de 2017 havia no Brasil 311,9 mil indústrias de transformação abrangendo variados setores (químico, automotivo, eletrônico, alimentícia etc.).

Figura 10: Perfil das Empresas da Industria Gráfica Brasileira em 2018.



Fonte: ABIGRAF, 2019.

A predominância de micro e pequenas empresas é uma característica da economia brasileira, quando se verifica apenas o setor gráfico, observa-se o perfil de micro empresas, que em comparação com outras é amplamente superior aos demais, 91,3 % dos estabelecimentos gráficos são microempresas no Estado do Rio de Janeiro, segundo dados de 2017 (FIRJAN, 2017).

O setor da indústria gráfica no Rio de Janeiro apesar do cenário econômico do país com a baixa produtividade e queda da atividade econômica, apresentou uma participação expressiva no Estado do Rio de Janeiro. De acordo com o último levantamento disponível em 2015, o estado continha 1.852 empresas distribuídas em 75 dos 92 municípios fluminenses (FIRJAN, 2018).

O município do Rio de Janeiro concentra 57,7 % das empresas instaladas no Estado e além de possuir cerca de 75,3 % dos trabalhadores do setor (SIGRAF, 2018).

O Conselho Nacional da Indústria (CNI) declara que a indústria gráfica fluminense contribui em 0,5 % dentro do quadro da indústria de transformação do Rio de Janeiro (CNI, 2019).

A Tabela 4, segundo dados da ABIGRAF (2019), mostra que os segmentos de maiores participações são a fabricação de embalagens seguido de publicação de livros e revistas, que juntos somam aproximadamente 70,0 % das atividades de produção no setor gráfico.

Tabela 4: Participação dos Segmentos na Indústria Gráfica Brasileira.

SEGMENTOS DA INDÚSTRIA GRÁFICA BRASILEIRA	**PARTICIPAÇÃO NO SETOR DE PRODUÇÃO (%)**
Embalagens	48,6 %
Editorial - Publicações (livros, revistas, manuais e guias)	21,6 %
Impressos Promocionais	8,6 %
Imp. de segurança/Fiscais/Formulários	6,8 %
Rótulos e Etiquetas	4,8 %
Pré-impressão	3,3 %
Cartões Transacionais (banco, crédito, refeição, alimentação etc.)	3,4 %
Cadernos e Envelopes	2,9 %

Fonte: ABIGRAF, (2019).

O processo produtivo das gráficas pode ser dividido em três etapas: pré-impressão, impressão e pós impressão (CETESB, 2009):

A Pré-impressão trata-se da fase de desenvolvimento, na qual ocorrerá a transferência da imagem, por meio da arte, para ou computador em caso de processo digital ou para as fôrmas, que variam conforme o sistema de impressão tais como chapa metálica para impressão *offset*, cilindros de metal para rotogravura e clichês de fotopolímeros para flexografia (CETESB, 2009).

A impressão é o processo principal para a realização do produto, no qual ocorrerá a transferência da imagem gravada na fôrma (tipos citados no item Pré-impressão) para o substrato.

No caso da impressão digital, a imagem é transferida diretamente para a impressora (laser, jato de tinta ou *offset* digital) (CETESB, 2009).

A última etapa é a pós impressão que consiste em acabamentos dos produtos impressos, com objetivo de melhorar a sua visibilidade, qualidade e preservação do material (CETESB, 2009).

Os principais insumos do setor gráfico são:

- Energia, o processo da indústria gráfica necessita de energia elétrica para operação de maquinários, principalmente impressoras e computadores sistema de refrigeração (CETESB, 2009).
- Águas, preparo de banhos na pré-impressão e limpeza de maquinários (CETESB, 2009). Contudo a digitalização dos processos reduziu consideravelmente o consumo de água e geração de efluentes, uma vez que as impressoras digitas não necessitam de volume grande de água, tecnologias e novos tipos de tintas contribuem também para esse fator (ABIGRAF,2017; FIRJAN, 2017).
- Matérias Primas, considera todos os materiais que podem ser usados na impressão, tais como tintas e vernizes, papel, madeiras e plásticos (CETESB, 2009).

Para contabilização das emissões de GEE de qualquer atividade industrial é necessário o conhecimento prévio das entradas e saídas, dos principais insumos do setor gráfico e levantamento dos aspectos e impactos ambientais inerentes a determinado processo com o objetivo de caracterizar suas fontes de GEE (FIRJAN, 2009).

Os aspectos e impactos ambientais da indústria gráfica são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 Alguns dos principais Aspectos e Impactos Ambientais Relacionados as emissões de GEE na Indústria Gráfica.

Aspectos Ambientais	**Impactos Ambientais**	**Emissões Atmosféricas**
Geração de Resíduos Sólidos	Disposição inadequada de resíduos, contaminação do solo, águas, emissões atmosféricas de gases.	Emissões de CH_4 e N_2O
Geração de Efluentes sanitários e industriais	Contaminação de recursos hídricos e solo. Emissões de gases em processos anaeróbicos.	Emissões de CH_4 e N_2O
Disposição de Resíduos Classe I para incineração (trapos e estopas contaminadas de tintas)	Emissões atmosféricas de gases e material particulado.	Emissões de CH_4, N_2O e CO_2, COVs, NOx, SOx MP_{10} e $MP_{2,5}$, dioxinas e furanos
Consumo de energia (geradores a diesel ou energia elétrica)	Emissões atmosféricas de gases e material particulado	Emissões de CH_4, N_2O e CO_2, NOx, SOx MP10 e MP2,5.
Transporte de produtos (Logística)	Emissões atmosféricas de gases e material particulado	Emissões de CH_4, N_2O e CO_2, NOx, SOx MP10 e MP2,5.

Fonte: Adaptado CETESB, 2009.

Os resíduos sólidos gerados nas indústrias gráficas são apresentados na Tabela 6, onde observa-se que sua forma de disposição pode contribuir para emissões de GEE, conforme pode ser verificado na Tabela 5.

Tabela 6: Relação qualitativa de resíduos sólidos e formas de tratamento no setor gráfico.

Resíduo	**Classificação ABNT NBR 1004**	**Destino e Tratamento**
Aparas de madeira, plásticos, papel e papelão	Classe IIA	Reciclagem ou Aterro Sanitário
Resíduos orgânicos	Classe IIA	Aterro Sanitário ou Compostagem
Material de limpeza de impressoras estopas e trapos	Classe I	Incineração ou Blendagem
Embalagens de tintas e solventes	Classe I	Incineração ou Blendagem

Fonte: Adaptado, CETESB, 2009;

Os principais resíduos gerados nas indústrias gráficas são os resíduos classe I, uma vez que parte dos resíduos Classe IIA podem ser reutilizados ou reciclados, exceto em casos específicos. Em relação as emissões de GEE destaca-se a incineração e a disposição em aterros para emissões de CH_4, N_2O e CO_2 (IPCC, 2006; FGV 2018).

Ao mapear os aspectos, impactos ambientais e as fontes de emissões para elaboração do inventario de emissões de GEE, surge a possibilidade com oportunidades de melhorias no processo industrial, podendo ser justificado pelo aumento da eficiência de suas atividades operacionais e mitigação de seus impactos ambientais (FIRJAN, 2009).

A avaliação sistemática dos aspectos e impactos de um produto ou de um sistema de serviços ao longo da sua vida, ou seja, desde a aquisição de matérias-primas, passando pela produção, uso e disposição final, o descarte ou reciclagem, pode ser obtida mediante uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (ABNT, 2009).

Segundo, ABNT NBR ISO14040 (2009), as avaliações de ciclo de vida podem ser realizadas, considerando diferentes fronteiras estabelecidas conforme a etapa de geração de produto, desde a aquisição de insumos a destinação de resíduos:

- *Cradle-to-gate* - expressão que define do “berço ao portão” compreende a aquisição de insumos e todo processo de produtivo. No caso das gráficas, como exemplo, pode se limitar principalmente a compra de matérias primas como tintas, papel e papelão, plásticos, as impressões e o produto acabado finalizado para entrega.
- *Gate-to-gate* - do “portão ao portão” considera apenas os limites operacionais da produção, sem inclusão de aquisição de matérias primas.
- *Gate-to-grave* - do portão ao túmulo considerando o produto até o seu destino e vida útil.
- *Cradle-to-grave* – do berço ao túmulo da obtenção dos insumos até a vida útil do produto acabado e sua destinação final (ABNT,2009).

O conceito de ACV possui como determinante os limites das etapas de vida do produto. A identificação e a determinação desses limites contribuirão na quantificação dos potenciais impactos ambientais, usando aqui nesse trabalho como indicador desse impacto as emissões GEE.

A ferramenta de ACV pode ser usada para calcular reduções de emissões de GEE ou propor melhorias de remoções de GEE em projetos de mitigação de GEE relacionados ao produto e seus processos (ABNT NBRISO14064-2, 2007).

As atividades gráficas uma vez participando de todos os ramos comerciais e industriais pela realização de serviços de publicidades, impressões de embalagens, *banners* e revistas, é considerada como fornecedora de seus produtos e assim contribuirá nas emissões de GEE do Escopo 3 de outras atividades industriais.

Existe nas grandes empresas, que relatam as emissões de GEE, a dificuldade de abordar as emissões do escopo 3 justamente por pertencerem a fontes de serviços de produtos adquiridos com terceiros limitando a ACV e análise da cadeia de valor de seus produtos ou serviços, isso ocorre porque grande parte de fornecedores das

grandes empresas, não estimam suas emissões de GEE (PATCHELL, 2018). Face ao exposto os inventários de GEE do setor gráfico irão contribuir para o preenchimento dessa lacuna apontada por PATCHELL (2018) obtendo informações de GEE e de mitigação para o escopo 3 de seus clientes.

2. METODOLOGIA.

A abordagem da pesquisa considerou os critérios da Metodologia Cientifica:

1- Fase descritiva e exploratória – explorando as informações sobre a problemática das mudanças climáticas, do aquecimento global e da intensificação das emissões de GEE na atmosfera. Abordagem sobre as metodologias e base cientifica sobre a contabilização das emissões de GEE setorial.

2- Fase analítica – averiguando o estudo caso escolhido com base nos os objetivos

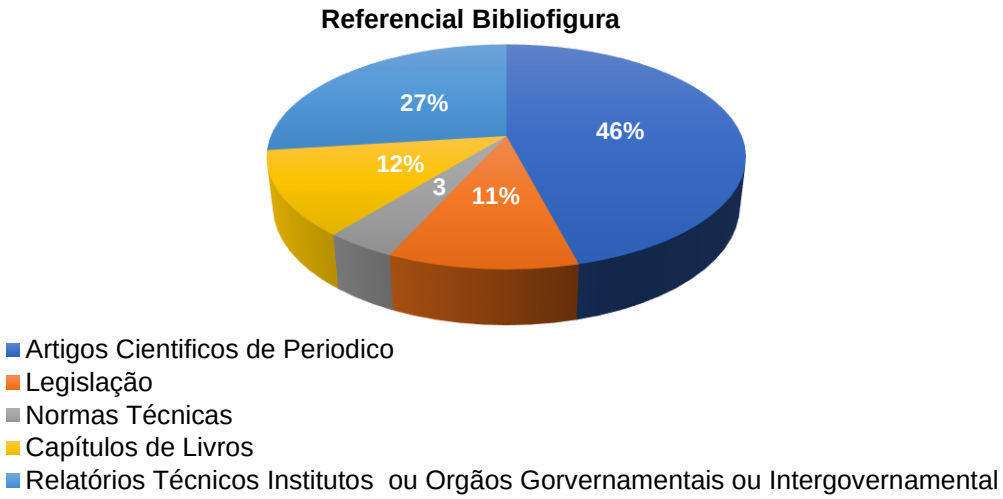
3- Fase sintética e atuante – investigando os resultados e conclusões, as possiblidades e viabilidade a partir dos resultados dos inventários de GEE e propondo um plano de mitigação viável economicamente e ambientalmente.

As pesquisas bibliográficas foram efetuadas mediante o uso de ferramentas de busca do Portal de Periódicos do CAPES e *Science Direct*.

A fundamentação jurídica abordou as leis em vigor até o momento no Brasil e os acordos internacionais sobre as questões das Mudanças Climáticas, tendo como principal base cientifica as informações do Painel Intergovernamental sobre o Clima – IPCC. Para quantificação das emissões e elaboração dos projetos de reduções de emissões de GEE buscou-se a diretriz da norma ABNT NBR ISO 14064-2:2007.

A figura 11 apresenta o resultado da contribuição para pesquisa com base nos tipos de fontes. Observa-se que o embasamento científico do trabalho buscou publicações relevantes sobre o tema e relatórios técnicos de institutos de pesquisa governamentais e intergovernamentais.

Figura 11: Percentual de Contribuição de trabalhos e fontes de informações na pesquisa.



Fonte: Autor (2019)

A metodologia aplicada no presente trabalho como proposta de elaboração do Plano de Mitigação tem como base as seguintes etapas:

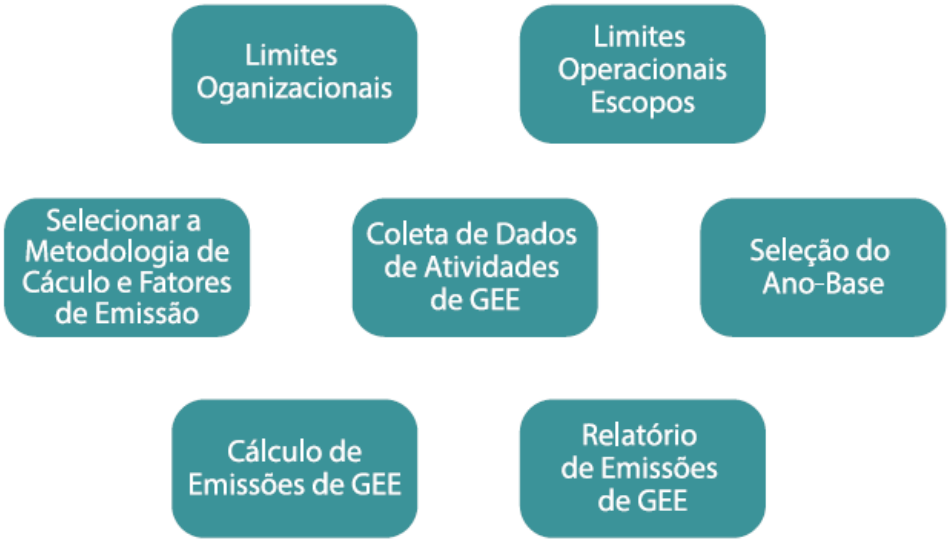
1) Elaboração dos inventários de GEE escopos 1, 2 e 3 de acordo como o Programa Brasileiro *GHG Protocol* e ANBT NBR ISO 14064-1:2007 e IPCC 2006.

2) Elaboração das propostas de mitigação com base nos resultados.

Os inventários foram elaborados de modo individual, ou seja, para cada empresa gráfica analisou-se as emissões dos anos de 2016, 2017 e 2018 para obtenção de amostra robusta do perfil das emissões GEE nas organizações estudadas.

No estudo de caso, conforme a Figura 12, seguiu-se as etapas da ABNT NBR ISO14064-1:2007 onde definiu-se os limites organizacionais e operacionais das indústrias gráficas contemplando os limites controlados pelas empresas para obtenção das coletas de dados associados a operação, as fontes de emissões. Selecionou-se os fatores de emissões referenciados, a seleção do ano base para comparação ao plano de mitigação.

Figura 12: Etapas para a elaboração do inventário de emissões de gases de efeito estufa.



Fonte: ABNT, 2007.

A fase de elaboração do Plano de Mitigação consiste nos resultados da quantificação das emissões, identificação das fontes com potencial de redução, sob uma abordagem do ciclo de vida e dentro dos limites operacionais dos objetos de estudo.

As diretrizes para elaboração da pesquisa foram as seguintes:

1) Pesquisa Bibliográfica, revisão teórica dos principais trabalhos já realizados na temática do aquecimento global na atmosfera e dos inventários de emissões GEE.
2) Fundamentação jurídica com base em leis e políticas de incentivo para os planos de reduções de emissões GEE.
3) Levantamento das ferramentas para realização de um Plano de Mitigação com base no referencial teórico destacando os principais métodos reconhecidos internacionalmente.
4) Escolha do setor gráfico para estudo de caso.

5) Identificação das principais fontes de emissões de gases de efeito estufa dentro do cenário industrial das gráficas de serviços não editorias de livros.
6) Elaboração dos inventários de emissões de gases de efeito estufa.
7) Avaliação dos resultados da quantificação das estimativas de GEE.
8) Elaboração da proposta de Plano de Mitigação.
9) Avaliação discursiva.

2.1. Definição do Estudo de Caso.

A presente pesquisa definiu como estudo de caso a operação de duas gráficas de pequeno e médio porte para aplicação do Plano de Mitigação com ênfase na redução das emissões de GEE.

Ao considerar a existência de aproximadamente 19 mil gráficas no Brasil e 1,7 mil só no estado do Rio de Janeiro, esse estudo pode representar um significativo potencial de contribuição na redução das emissões de GEE no setor industrial nacional.

O plano de mitigação pode servir de modelo de boas práticas de sustentabilidade para o setor, podendo ser também adaptado a outras atividades econômicas.

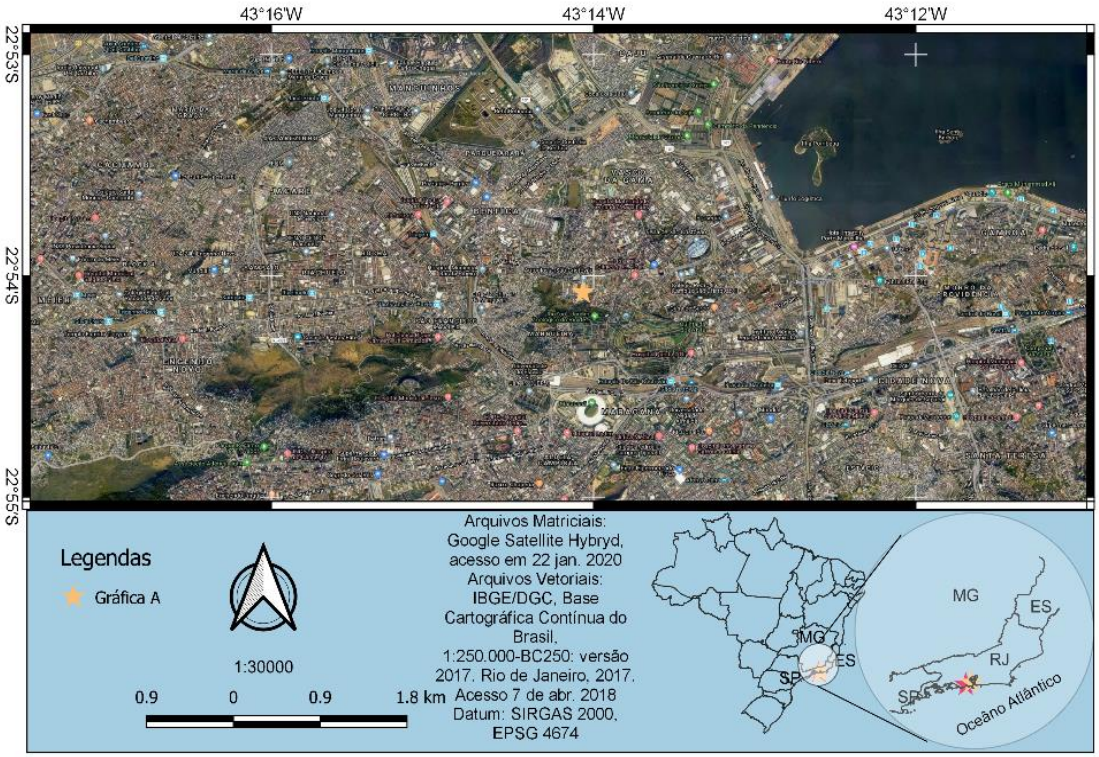
A escolha das duas empresas foi baseada na observação de que a indústria gráfica abastece produtos para todos os setores industriais e comerciais, de materiais de publicidade, como cartazes, banners, displays até embalagens para artigos de consumo em geral.

Assim devido as suas emissões de GEE na confecção desses produtos, sua presença na pegada de carbono ou no ciclo de vida de qualquer produto distribuído ou comercializado no mundo é globalmente notória.

Considera-se também que nos limites operacionais existem significativos aspectos ambientais como; consumo de energia elétrica, consumo de combustíveis fósseis para transporte e geração de resíduos que por sua vez emitem diretamente e indiretamente GEE para atmosfera.

As duas gráficas estão localizadas na cidade do Rio de Janeiro-RJ, conforme a Figura 13 e Figura 14. Possuem características semelhantes diferenciando-se pelo porte e o potencial poluidor.

Figura 13: Mapa de localização da gráfica A. Delimitação das unidades operacionais.



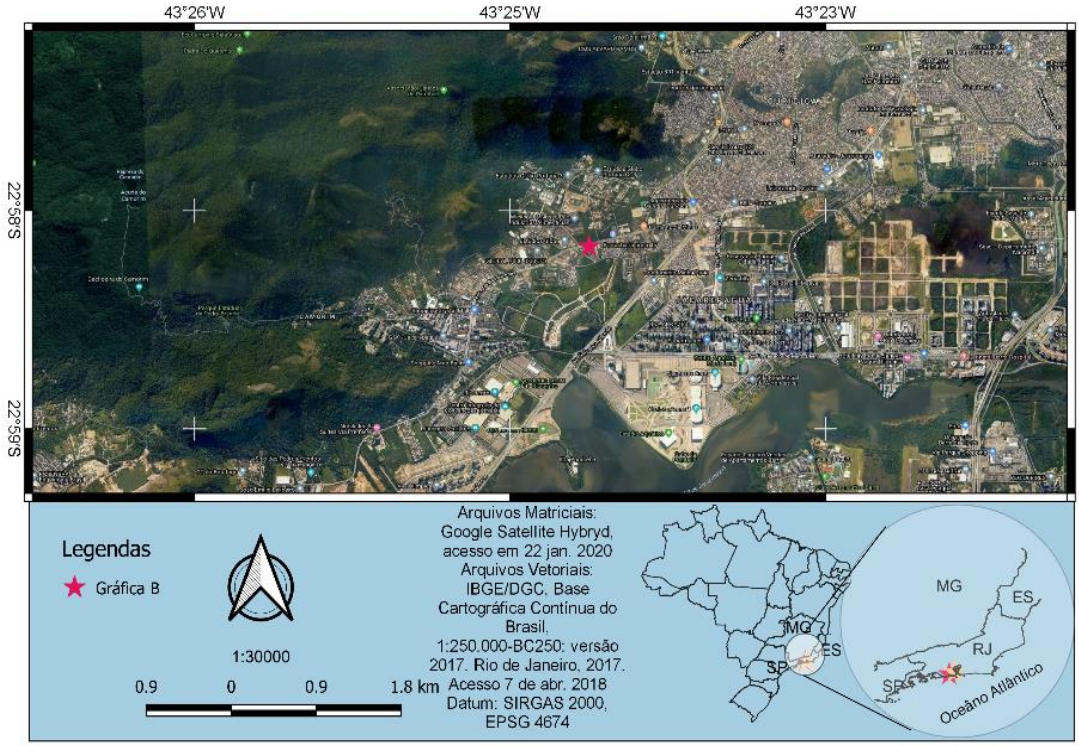
Fonte: O autor 2019.

A “Gráfica A” (22°54'05.45"S 43°13'51.58"O) está instalada no bairro de São Cristóvão, desde 2002, e ocupa uma área de 6.000 m² (Figura 13). É classificada no Licenciamento Ambiental como atividade de porte médio e médio potencial poluidor.

Possui Licença Ambiental para atividade de confecção de artigos promocionais, tais como display, banners, artigos e papel de parede.

A “Gráfica B” (22°57'47.76"S 43°24'08.97"O) está instalada no bairro de Jacarepaguá, desde 2013, ocupa uma área de 2.000 m², conforme Figura 14. É classificada no Licenciamento Ambiental como atividade de pequeno porte e médio potencial poluidor.

Figura 14: Mapa de localização da gráfica B. Delimitação das unidades operacionais.



Fonte: O autor, 2019.

2.2. Ferramentas de Cálculos de Emissões de Gases de Efeito Estufa - Inventários de GEE.

Esta fase do trabalho foi organizada com base em uma metodologia para mensuração das emissões que considerou as fontes mais relevantes durante a

operação das indústrias gráficas A e B, com uma abordagem baseada na análise do ciclo de vida, ou seja, desde a produção inicial a entrega final do material produzido considerando também o uso de energia, transporte e gerenciamento de resíduos.

Os cálculos utilizados seguem as recomendações e referências das metodologias desenvolvidas pelo IPCC 2006 *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, o* Programa Brasileiro *GHG Protocol* da FGV (2018), do Ministério de Minas e Energia (2018) e a norma ABNT NBR ISO14064-1:2007 - Gases de Efeito Estufa -Parte 1: especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de Gases de Efeito Estufa, e da Resolução INEA IN064 (2012).

A metodologia para cálculos das emissões partiu das etapas a seguir:

1) Identificação das fontes de emissão – classificação das fontes dentro dos limites operacionais das gráficas considerados para fins do inventário e do plano de mitigação de GEE.

2) Contabilização das emissões baseada na aplicação de fatores de emissões e dados padrões pré-estabelecidos, *default,* na ausência de dados mais empíricos.

3) Coleta de dados de atividade e escolha dos fatores de emissão, preferencialmente aqueles mais específicos quanto possível. Os fatores de emissão foram encontrados no Programa Brasileiro *GHG Protocol*, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação do Brasil e do IPCC.

4) Aplicação das ferramentas de cálculo e compilação dos dados e resultados das emissões inventariadas. Os dados, os cálculos e o desenvolvimento das equações foram organizados em planilhas de ferramenta de cálculo do *Excel da Microsoft Office 365: Ferramenta GHG Protocol v2019.3xlsx*, Ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol. Disponivel em: <http://ghgprotocolbrasil.com.br/ferramenta-de-calculo/?locale=pt-br>.

Na Tabela 7, especificada abaixo foram consideradas as emissões de fontes móveis geradas na logística de transporte de entrega de produtos, as emissões

fugitivas de HFCs de equipamentos de climatização (ar condicionados), e as emissões indiretas provenientes do tratamento de resíduos por incineração, aterro sanitário urbano, transporte de resíduos realizados por terceiros e da compra de energia elétrica.

Tabela 7: Levantamento de Fontes e Categorias de GEE do estudo de caso.

Fontes	**Categoria de Escopo (Programa Brasileiro GHG Protocol- FGV)**	**GEE Mensurados nas emissões**
Equipamentos de Refrigeração (ar condicionados) Consumo de gás R22	Escopo 1 Emissões Fugitivas	HCFC-22 (Clorodifluormetano)
Consumo de combustível, Diesel, pela frota	Escopo1 Emissões de fontes móveis	CO_2 CH_4 e N_2O e CO_2biogênico.
Compra de Energia Elétrica do Sistema Interligado Nacional - SIN	Escopo 2 Energia	CO_2
Tratamento de Resíduos por Terceiros Classe I por incineração e Resíduos Classe IIA por Aterro	Escopo 3 *Upstream* Emissões de Tratamento de Resíduos (Categoria 5 Resíduos gerados nas operações)	CO_2 CH_4 e N_2O
Transporte de Resíduos por terceiros Combustão Móvel – Diesel	Escopo 3 *Transporte Upstream (Categoria 4 Transporte e Distribuição)*	CO_2 CH_4 e N_2O

Fonte: Adaptado FGV (2018), IPCC (2006), Firjan (2017)

A escolha da metodologia de cálculo considerou:

- Reconhecimento jurídico no Estado brasileiro – a Metodologia do *GHG Protocol* é recomendada para elaboração de inventários de GEE em 3 Estados. Sendo no Estado do Rio de Janeiro obrigatório conforme a Resolução INEA n° IN064 de 2012.

- Reconhecimento técnico internacional, uma vez que a metodologia utiliza os fatores de emissões e de GWP reconhecidos pela base cientifica do IPCC e possui referência na norma ABNT NBR ISO14064-1:2007.

As incertezas do método estão nos fatores de emissões e nas estimativas das emissões em que foi necessário o uso de dados *default,* contudo as metodologias são consolidadas pelo IPCC (2006) e pelo Programa Brasileiro *GHG Protocol* e declaram que mesmo assim as quantificações são razoáveis e seguras sendo também acreditado conforme a ABNT NBR ISO14064-1:2007.

2.2.1 Cálculo das Emissões do Escopo 1, por consumo de combustíveis e emissões de fontes móveis de frota própria.

Nesse tópico é apresentada a metodologia de cálculo para emissões de combustão móvel, isto é, emissões de GEE provenientes da queima de combustível, em que ocorre sua oxidação e a energia gerada é usada para produzir movimento de veículos.

Os veículos da frota própria usados para entrega de produtos impressos e confeccionados pelas gráficas consumiram nos anos de 2016, 2017 e 2018 óleo diesel e gasolina, conforme descrito nas tabelas 10 e 11.

No cálculo das emissões por consumo de gasolina destaca-se que para fins de inventário da frota a metodologia da Ferramenta do *GHG Protocol* da FGV considera que 27 % do carbono contido na gasolina comum brasileira são provenientes do etanol anidro, isto é, são de origem biogênica, enquanto os 73 % restantes do carbono são de origem fóssil (FGV, 2019).

Cabendo destacar que, os resultados de CO_2 biogênico são apenas informativos nesse caso e por serem do ciclo natural do carbono não são somados aos resultados dos inventários, conforme recomendação da ISO14064:2007.

A ferramenta de cálculo da FGV considerou a Portaria nº 75 de 5 de março de 2015 do antigo Ministério de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento em seu

Artigo 1º que fixa o percentual obrigatório de adição de etanol anidro combustível à gasolina nos seguintes percentuais: 27 % na gasolina Comum e 25 % na gasolina Premium.

A metodologia de cálculo para emissões de combustão móvel dos veículos à gasolina considerou os fatores de emissões conforme a Tabela 8.

Tabela 8: Fatores de Emissão da Gasolina Brasileira kg GEE Litro^{-1}

Fonte	**GEE**	**Fator de emissão (Gasolina)**	**Fator de emissão (Fração Biogênica de Etanol)**	**Referência**
Veículos Gasolina	**CO_2**	2,212 kg CO_2 L^{-1}	1,526 kg CO_2 L^{-1}	2° Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários - 2013, janeiro 2014, MMA. Tabela 9. Fator referente à Gasolina Automotiva. IPCC 2006 Guide Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Chaper 3 Mobile Combustion.
	CH_4	8,077 x 10^{-4} kg CH_4 L^{-1}	2,235 x10^{-4} kg CH_4 L^{-1}	
	N_2O	2,585 x 10^{-4} kg N_2O L^{-1}	1,341 x10^{-4} kg N_2O L^{-1}	

Fonte: Adaptado FGV (2019).

Para quantificação das emissões de combustão móvel em veículos de motores à diesel considera-se os fatores de emissões que se referem as emissões de CO_2 fração fóssil, CH_4, N_2O e CO_2 fração biogênica.

Conforme orientação da FGV a fração de CO_2 biogênica é calculada com base no percentual de biodiesel B100 que é adicionada no diesel. Esses percentuais são variáveis em conformidade à Lei nº 13.263 de 23 de março de 2016 que determinou

o percentual de volume anual de biodiesel adicionado ao diesel da seguinte forma: 7 % em 2016, 7% a 8 % em 2017[13] e 8% a 10 % em 2018[14]. (ANP, 2016).

Os fatores de emissões usados pela metodologia do *GHG Protocol* da FGV foram os baseados pelo *Guidelines For National Greenhouse Gas Inventories Chaper 3 Mobile Combustion* e 2° Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários - 2013, janeiro 2014, do Ministério do Meio Ambiente (MMA). A Tabela 9 demostra os fatores de emissões usados para os cálculos das emissões de GEE por fontes móveis com o consumo de Diesel.

Tabela 9: Fatores de Emissão do óleo Diesel Comercial Brasileiro

Fonte	**GEE**	**Fator de emissão fração fóssil (Diesel)**	**Fator de emissão fração biogênica (B100)**	**Referência**
Veículos Diesel	CO_2	2,603 kg CO_2 L^{-1}	2,431 kg CO_2 L^{-1}	2° Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários - 2013, janeiro 2014, MMA. IPCC 2006 Guide Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Chaper 3 Mobile Combustion
	CH_4	1,385 x 10^{-4} kg CH_4 L^{-1}	-	
	N_2O	1,385 x 10^{-4} kg N_2O L^{-1}	-	

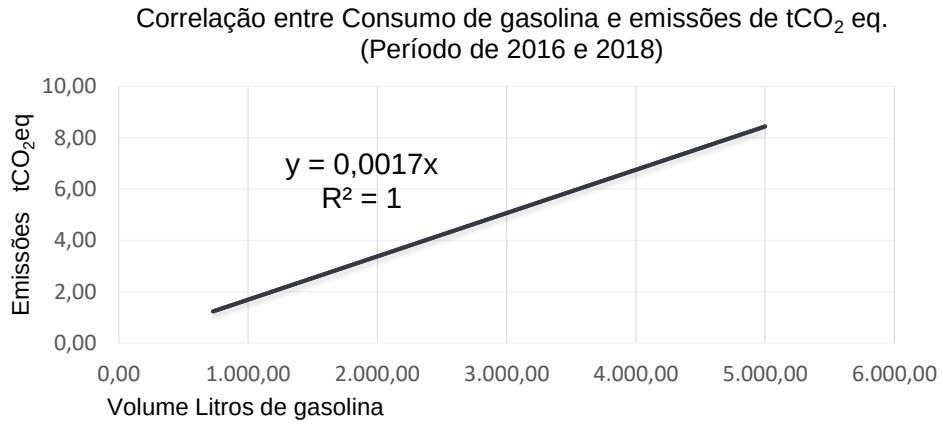
Fonte: Adaptado FGV (2019).

As equações para quantificação das emissões de combustão móvel são semelhantes a equação básica apresentada no Referencial Teórico item 1.3. e que confere os resultados das emissões ao produto do volume de combustível consumido no motor multiplicando o seu respectivo fator de emissão específico para CO_2, CH_4 e N_2O.

[13] Em 2017 conforme a Lei nº 13.263 de 2016 o percentual de adição biodiesel foi de 7 % entre os meses de janeiro a fevereiro e 8 % entre os meses março a dezembro.
[14] Em 2018 conforme a Lei nº 13.263 de 2016 o percentual de adição biodiesel foi de 8 % entre os meses de janeiro a fevereiro e 10 % entre os meses de março a dezembro.

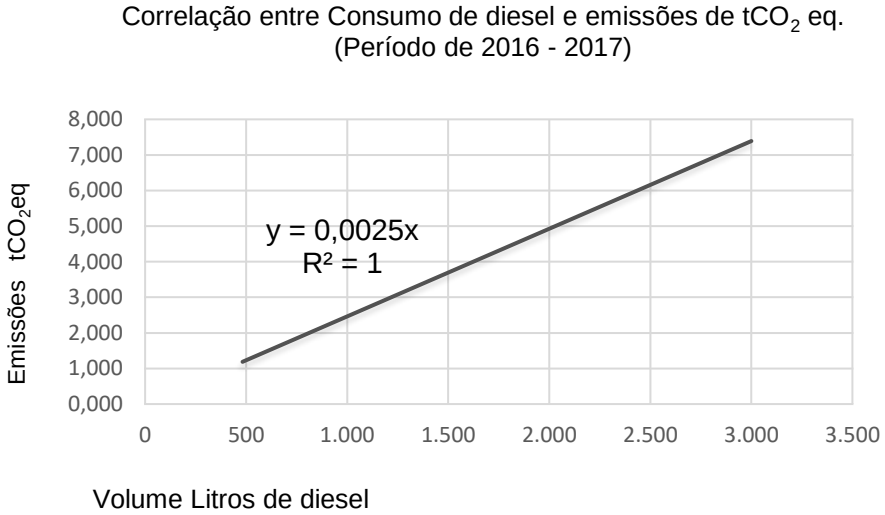
Nas figuras 15, 16 e 17 estão apresentadas as Curvas de correlação das emissões tCO_2eq pelo volume em litros de combustível consumido considerando os cenários dos anos de 2016, 2017 e 2018 para gasolina e diesel.

Figura 15: Correlação entre consumo de gasolina e emissões de t CO_2 eq. por fontes de combustão móvel.



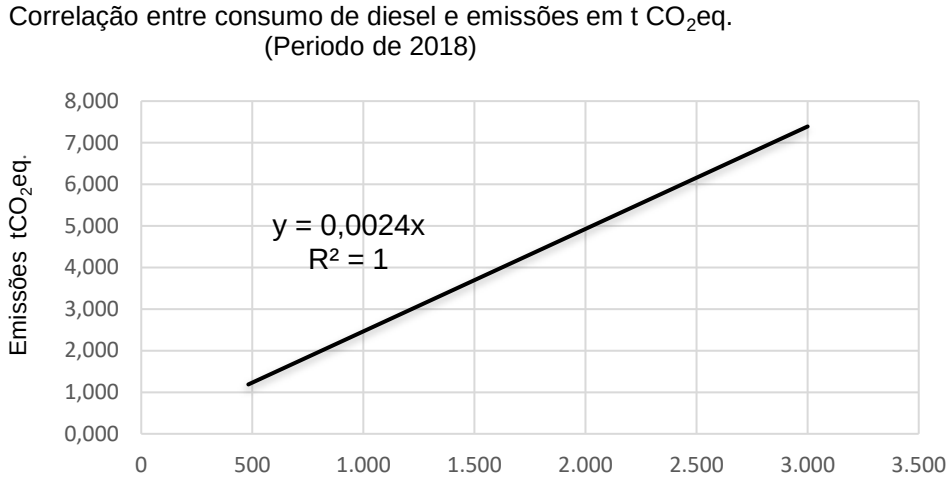
Fonte: O autor, 2019.

Figura 16: Correlação entre consumo de diesel em 2016 e 2017 e emissões de tCO_2 eq por fontes de combustão móvel.



Fonte: O autor, 2019.

Figura 17: Correlação entre consumo de diesel em 2018 e emissões de tCO_2 eq por fontes de combustão móvel.



Fonte: O autor, 2019.

As equações da reta da correlação direta entre o consumo de diesel em litros com as suas emissões em termos de toneladas de CO_2 equivalente apresentam será variação entre os anos de 2016 a 2018 devido ao percentual de B100 adicionado ao diesel por isso que o coeficiente angular na equação de 2018 é menor devido a sua maior porcentagem de biocombustível e menor fração fossil de diesel comum.

O consumo em litros de combustíveis registrado nos períodos de 2016, 2017 e 2018 coletados encontram-se na tabela 10 para organização da gráfica A e para organização da gráfica B expressos em litros por ano.

Tabela 10: Coleta de dados de consumo de óleo Diesel e Gasolina para o cálculo das emissões diretas por combustão móveis na indústria gráfica A.

Tipo de frota	**Ano**	**Tipo de combustível**	**Consumo anual Litros (L)**
Caminhões	2016	Óleo Diesel (comercial)	2.129,000
Carros de leves		Gasolina Automotiva (comercial)	4.360,000
Caminhões	2017	Óleo Diesel (comercial)	1803,000
Carros de leves		Gasolina Automotiva (comercial)	3583,000
Caminhões	2018	Óleo Diesel (comercial)	1682,247
Carros de leves		Gasolina Automotiva (comercial)	3.412,000

Fonte: O autor, 2019.

Tabela 11: Coleta de dados de consumo de óleo Diesel e Gasolina para o cálculo das emissões diretas por combustão móveis na indústria gráfica B.

Tipo de frota	Ano	Tipo de combustível	Consumo anual Litros (L)
Caminhões	2016	Óleo Diesel (comercial)	482,000
Carros de leves		Gasolina Automotiva (comercial)	873,000
Caminhões	2017	Óleo Diesel (comercial)	362,000
Carros de leves		Gasolina Automotiva (comercial)	717,000
Caminhões	2018	Óleo Diesel (comercial)	337,218
Carros de leves		Gasolina Automotiva (comercial)	682,000

Fonte: O autor, 2019.

Durante a coleta constatou uma variação expressiva no consumo principalmente e comparação ao período de 2016 a 2018. Esse perfil de variação de consumo se repercutiu entras fontes, a explicação mais próxima disso será detalhada no tópico de resultados das emissões.

2.2.2 Cálculo das Emissões de Escopo 1, por consumo de gás refrigerante HFCs e emissões fugitivas.

No cálculo das emissões fugitivas essa metodologia do *GHG Protocol* da FGV é uma adaptação de métodos da EPA (2008) Emissões Diretas de HFC e PFC pelo uso de Equipamentos de Refrigeração e Ar Condicionado, *Climate Leaders*, EPA e do guia Cálculo das emissões de HFC e PFC provenientes da fabricação, instalação, operação e descarte de equipamentos de refrigeração e ar condicionado, do *GHG Protocol*, WRI (2005).

O gás refrigerante que foi usado para manutenção de equipamentos de ar condicionado o R22, que se trata de um HCFC-22 (Clorodifluormetano), HCFC não regulado pelo Protocolo de Kyoto. Para os cálculos das emissões de GEE pelo consumo de gás refrigerante o IPCC e Programa *GHG Protocol* recomenda que seja quantificado mediante ao produto do volume de gás consumido em função do seu respectivo GWP para obtenção da quantidade de CO_2 eq. (FGV, 2019).

O cálculo utiliza a equação:

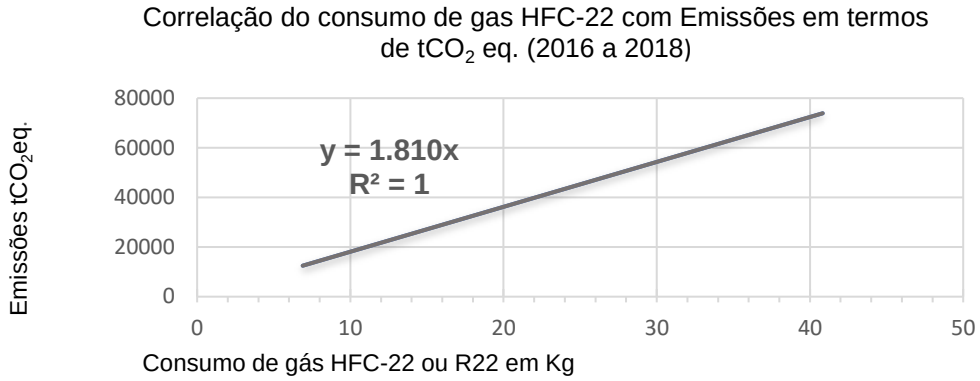
> *E = (EUN + EUE + EUD) x GWP*
>
> em que:
>
> *E* = emissões em CO_2eq (kg);
>
> *EUN* = emissões da instalação de novas unidades: gás usado para carregar o equipamento novo menos capacidade do equipamento (a diferença corresponde às perdas para a atmosfera);
>
> *EUE* = gás adicionado a unidades existentes como manutenção pela organização ou fornecedor (não inclui pré-cargas feitas pelo fabricante);
>
> *EUD* = emissões do descarte de unidades antigas: capacidade da unidade dispensada menos a quantidade de gás recuperada (a diferença corresponde às perdas para a atmosfera).
>
> *GWP = Potencial de aquecimento Global do gás HFC22. Sendo igual a 1.810* (FGV, 2019; IPCC, 2007).

Considerando que o fator de conversão da quantidade de HFC em é o seu próprio GWP pode-se obter uma curva de correlação entre as emissões.

A Figura 18 correlaciona a quantidade de HFC-22 consumida em Kg com as suas respectivas emissões fugitivas em termos de CO_2eq, o gráfico expressa o cálculo dessas emissões considerando o GWP de 1.810.

No presente estudo de caso a abordagem para a contabilização do volume de consumo do gás R22 considerou no estágio de ciclo de vida do produto apenas as recargas realizadas, ou seja, emissões de unidades existentes.

Figura 18: Correlação para cálculo da emissão de HFC 22 em expressos em t CO_2eq.



Fonte: O autor, 2019.

2.2.3 Cálculo das Emissões Escopo 2, emissões indiretas por consumo de energia elétrica.

A metodologia de cálculo para as emissões indiretas de GEE pelo consumo de energia é baseada na abordagem de localização (*location-based*). Esta abordagem quantifica as emissões de GEE de Escopo 2 utilizando como fator de emissão a média das emissões para geração da energia elétrica proveniente de um determinado sistema elétrico (*grid*), considerando seu limite geofigura e um dado período (FGV, 2019).

Os fatores de emissões são obtidos com base na metodologia da *Methodological tool: Tool to calculate the emission factor for an electricity system Version 04.0* (Ferramenta metodológica para calcular o fator de emissão para um sistema de eletricidade Versão 04.0) do MDL da UNFCCCC[15] (UNFCCCC, 2013).

No Brasil as quantificações de GEE do escopo 2 fundamentam-se nos fatores de emissões do *grid* do Sistema Interligado Nacional - SIN. Esses fatores são calculados e disponibilizados pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação (MCTIC) (BRASIL, 2018; FGV,2018).

[15] United Nations Framework Convention on Climate Change ou UNFCCCC. Tradução: Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima.

O fator de emissão do SIN, calculado com base na metodologia do MDL, considera como fonte a intensidade das emissões de tCO_2 proveniente da energia distribuída ao consumidor final, ou energia despachada nas linhas de transmissão. E, o fator de emissão da margem de construção de usinas, que reflete a intensidade das emissões de CO_2 das últimas usinas construídas. O conceito do fator de emissão para energia distribuída leva em consideração, também, todas as usinas em operação e calcula a média das emissões da geração de energia (UNFCCC, 2013).

Segundo a metodologia de MDL da UNFCCC (2013), os fatores de emissão são estabelecidos com base nos principais parâmetros:

- Fator de emissão de CO_2, em t CO_2 MWh^{-1}, da margem de construção para o sistema de eletricidade do projeto no ano y.
- Fator de emissão de CO_2, em t CO_2 MWh^{-1}, da margem de operação para o sistema elétrico do projeto no ano y.
- Fator de emissão de CO_2, em t CO_2 MWh^{-1}, da margem combinada para o sistema elétrico do projeto no ano y.

O MCTIC (2013), obtém o fator de emissão final mediante a média associada a geração de energia de todas plantas, hidroelétricas e termoelétricas, que operam e abastecem de eletricidade do SIN.

Desta forma, o cálculo da emissão de CO_2, para o consumo ou compra de energia elétrica do SIN é definida pela equação abaixo:

$$E_{CO_2} = f_{CO_2-SIN} * EE$$

Onde:

E_{CO2} = Emissão de CO_2 (Mg t^{-1}) podendo ser mensal ou anual;

f_{CO2} – SIN = Fator de emissão de CO_2 do SIN dados pelo MCT (Mg MWh^{-1}) média mensal ou anual;

EE = Energia Elétrica adquirida do SIN (MWh t^{-1}).

A Tabela 12 apresenta os fatores de emissões do SIN nos anos de 2016 até 2018 expressos em Mg CO_2 MWh^{-1} os quais foram utilizados nos cálculos do Escopo 2.

Tabela 12: Fatores de Emissões de CO2 do consumo de energia elétrica do SIN Brasil - triênio de 2016 a 2018.

	Fator de Emissão para fonte do SIN – Brasil. (Mg CO_2 MWh^{-1})		
Mês	**Ano 2016**	**Ano 2017**	**Ano 2018**
Janeiro	0,0960	0,0566	0,0640
Fevereiro	0,0815	0,0536	0,0608
Março	0,0710	0,0696	0,0635
Abril	0,0757	0,815	0,0523
Maio	0,0760	0,0847	0,0607
Junho	0,0760	0,0676	0,0915
Julho	0,0725	0,0965	0,1076
Agosto	0,0836	0,1312	0,1181
Setembro	0,0897	0,1264	0,1182
Outubro	0,0925	0,1366	0,0802
Novembro	0,1002	0,1193	0,0366
Dezembro	0,0714	0,0892	0,0343
Média Anual	**0,0817**	**0,0927**	**0,0470**

Fonte: BRASIL, 2018.

Observa-se que o SIN não considerou metano e oxido nitroso, em seus fatores de emissão. Contudo Ferreira, Alves e Gonçalves (2017), Santos et al. (2017) e Fearnside (2008, 2015) avaliaram e constataram a existência de formação desses gases nas instalações hidroelétricas brasileiras. As fontes de emissões de GEE são os reservatórios de água, ou seja, as barragens e as emissões contemplam as fases da instalação e operação das usinas de geração de energia.

Os gases CH_4 e N_2O são gerados nesses casos em processos de decomposição da matéria orgânica existente nos reservatórios como folhas e restos de animais (FEARNSIDE, 2015).

Ainda segundo Santos et al. (2017), a maioria das usinas hidroelétricas emitem menos CH_4 do que as usinas termoelétricas. Embora a energia hidroelétrica em média

apresente menos emissão do que as termoelétricas. Segundo Fearnside (2015) deve-se destacar o cuidado e a necessidade de revalidação do IPCC haja vista que os fatores de emissões das hidroelétricas foram subestimados.

As gráficas usadas no estudo de caso optaram pela aquisição de energia junto a concessionaria de distribuição de energia local, Light Serviços de Eletricidade SA, associada ao Sistema Interligado Nacional.

Foram amostrados de cada gráfica os consumos mensais em Kwh dos anos de 2016, 2017 e 2018. Como também os fatores de emissões do *grid* que foram obtidos do SIN, uma vez definida a localização das empresas na região sudeste do país.[16]

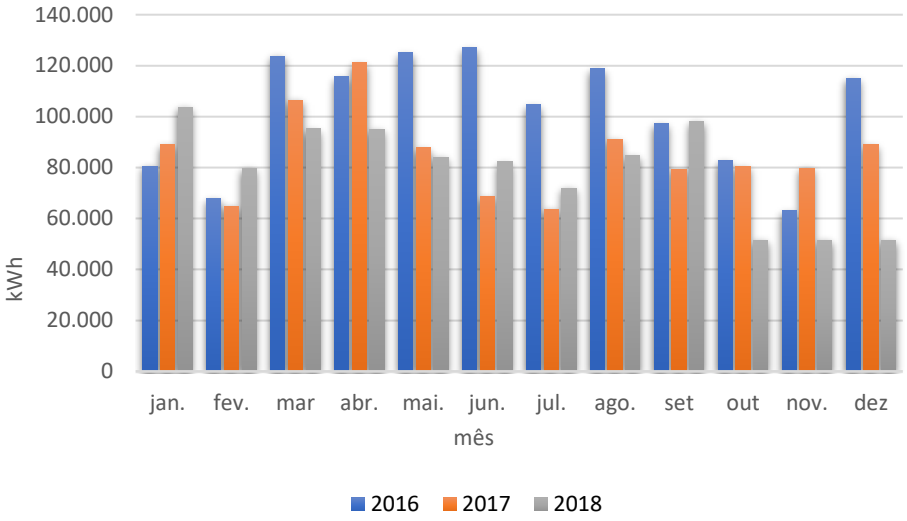
A amostragem do consumo de energia elétrica em KWh gerou 108 dados primários de entrada (*input*) para elaboração das estimativas de GEE. Todos os dados foram usados considerando a materialidade para o Escopo 2.

A coleta de dados do consumo de energia para quantificação das suas emissões de GEE, nos períodos de três anos, possibilitaram uma análise mais robusta do perfil de emissão dessas atividades.

A seguir as figuras 19 e 20 representam o consumo total de eletricidade do sistema SIN para anos de 2016, 2017 e 2018. Os resultados são expressos em t CO_2 eq. A variação expressiva deve em hipótese a diversos fatores como demanda de produção em função do período econômico e eventos na cidade do Rio de Janeiro, considerando que esses tipos de indústrias operam sob demanda de serviços diversos.

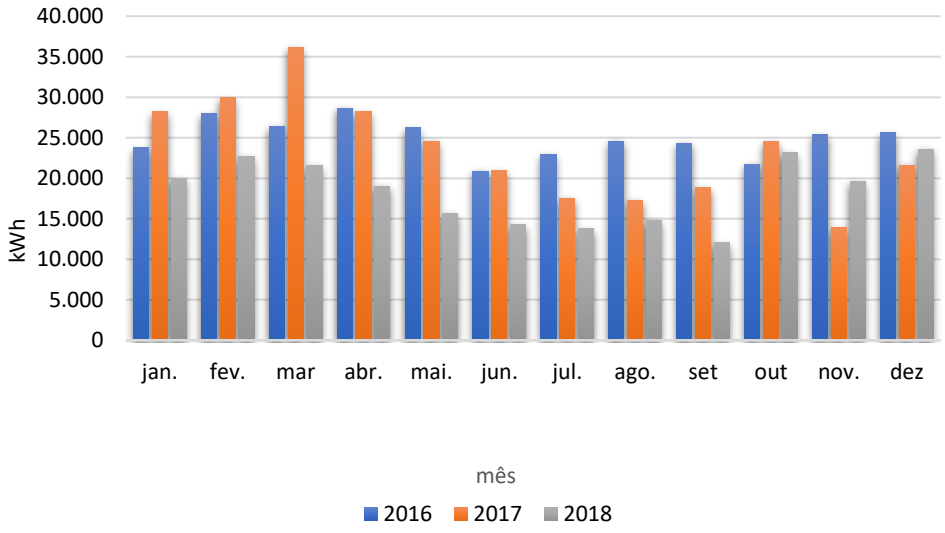
[16] O Sistema Interligado Nacional o SIN contempla a distribuição de energia do Sudeste, região do estudo. Embora existem no país ainda alguns sistemas isolados de geração e distribuição de energia operados a partir de 2017 pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) principalmente na região Norte.

Figura 19: Perfil de consumo mensal de energia elétrica kWh Gráfica A. Período de 2016, 2017 e 2018.



Fonte: “Gráfica A” adaptado o autor, 2019.

Figura 20: Perfil de consumo mensal de energia elétrica kWh Gráfica B. Período de 2016, 2017 e 2018.



Fonte: GRÁFICA B adaptado autor, 2019.

2.2.4 Cálculos das Emissões Escopo 3, Emissões de fontes móveis indiretas por transporte de resíduos realizados por terceiros.

A avaliação do ciclo de vida permitiu identificar a contribuição das emissões indiretas geradas no transporte de resíduos por terceiros.

Para cálculo baseou-se no tipo de tratamento realizado para cada classe de resíduos com finalidade de determinar seus limites e percursos de destinação. Os resíduos classe IIA, quando destinados foram tratados por Aterro Sanitário classe IIA e outros tipos de resíduos classe I por incineração.

As informações do tipo de tratamento final para o resíduo e a quilometragem da destinação foram obtidas mediante os registros nos MTRs.

Os cálculos das fontes móveis basearam-se na metodologia da ferramenta do Programa Brasileiro do *GHG Protocol*, os fatores de emissão para queima de combustível de óleo diesel são os mesmos descritos na Tabela 9, sendo o volume em litros de combustível consumido estimado na ferramenta, mediante a quilometragem do trajeto percorrido pelos caminhões.

Considerou-se a distância em km das Gráficas A e B até as unidades de tratamento de resíduos especificados conforme a Classificação de acordo com a NBR ABNT 10004:2004.[17] Esse método de estimativa foi reproduzido para todas as viagens de transporte de resíduos para o triênio nas duas gráficas.

Os cálculos consideraram os mesmos fatores de emissões para CO_2, CH_4 e N_2O aplicados para frota do Escopo 1 e o volume estimado de diesel com base na Ferramenta do GHG Protocol da FGV.

[17] NBR ABNT 10004:2004. Resíduos Sólidos Classificação *Solid waste – Classification.* Os Resíduos Classe I–Perigosos aqueles resíduos com características de toxidades inflamabilidade, corrosividade, reatividade, patogenicidade; Resíduos classe IIA são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - Perigosos ou de resíduos classe II B- Inertes, nos termos desta Norma. Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

A recomendação do GHG Protocol é que as emissões de tratamento de resíduos realizadas fora das instalações ou por terceiros (empresas especializadas) sejam reportadas no Escopo 3 Emissões *Upstream* Categoria 4 Transporte e Distribuição, na forma de emissões indiretas, uma vez que a organização não tem a propriedade e o controle operacional do tratamento dos resíduos (FGV, 2018).

A seguir, a Tabela 13 descreve a estimativa de litros de combustível consumido em função da quilometragem do transporte dos resíduos realizados por empresas contratadas para o tratamento de resíduos Classe I e Classe IIA.

Tabela 13: Estimativa de consumo de diesel em função da quilometragem referente ao transporte de resíduos, considerando 1 (uma) viagem.

Origem Rio de Janeiro -RJ	**Tipo de resíduos (NBR 10004 ABNT)**	**Unidade de Tratamento Munícipio - Estado**	**km**	**Estimativa de Litros de diesel consumido/viagem**
Gráfica A	Classe I	Valinhos - SP	483,0	86,25
Gráfica A	Classe IIA	Seropédica -RJ	68,9	12,30
Gráfica B	Classe I	Valinhos - SP	509,0	90,89
Gráfica B	Classe IIA	Seropédica -RJ	56,7	10,21

Fonte: Adaptada FGV (2019).

2.2.5 Cálculos das Emissões de Escopo 3- Emissões Indiretas do Tratamento de Resíduos realizados por terceiros.

Com finalidade de quantificar as emissões de resíduos Classe I que foram tratados por incineração usou-se o método do IPCC (2006) *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 5 Waste* e planilha *IPCC Waste model (MS*

Excel) considerando que a ferramenta do Programa Brasileiro *GHG Protocol* da FGV não dispõe ainda de fatores de emissões para processos de incineração de resíduos no âmbito nacional, logo optou-se pela aplicação do cálculo pelo *default data,V5_5CH5_IOB.pdf Incineration and Open Burning of Waste,* utilizando os fatores de emissões padrão do IPCC(2006). Observa-se que o motivo pelo qual o programa brasileiro não possui ainda os fatores de emissões para os processos de incineração de resíduos deve-se a especificidade da atividade que requer estudos referentes aos próprios equipamentos de incineração.

O método para estimar as emissões de CO_2 resultantes da incineração de resíduos baseia-se na estimativa do conteúdo de carbono fóssil no resíduo coprocessado e os fatores de emissão no contexto da incineração relacionam a quantidade de gás de efeito estufa emitida ao peso de resíduos incinerados (IPCC, 2006).

A Tabela 14 descreve os parâmetros para estimativa das emissões que são as quantidades de resíduos em massa, os fatores de emissão específicos com base no *default* do IPCC supracitado.

Tabela 14 Parâmetros para quantificação das emissões de GEE geradas pela atividade de incineração de resíduos industriais.

Parâmetros	**Sigla**	**Estimativa de CO_2**	**Estimativa de CH_4**	**Estimativa de N_2O**
Fator de emissão	FE_{GEE} (t GEE / t resíduo incinerado)		6	100
Fração fóssil de carbono total	FCF	90 %	NA	NA
Fator de oxidação	OF	100 %	NA	NA
Fração de Carbono seco	CF	50 %	NA	NA
Componente de matéria seca	dm	100 %	NA	NA

Fonte: IPCC (2006).

Segundo o IPCC (2006) é mais prático estimar as emissões de CO_2 geradas na incineração de resíduos com base nos parâmetros de composição de carbono nos resíduos, do que medir as concentrações de CO_2. Como não há informações disponíveis sobre a fração de matéria seca no resíduo incinerado (dm) e não há dado padrão fornecido pelo IPCC, foi considerado o valor de 100 % de matéria seca no resíduo por conservadorismo.

No caso das emissões de CH_4 e N_2O isso depende principalmente da tecnologia de combustão, o que ocorre é que na ausência dessas informações a orientação do SIRENE é também o uso *default* do IPCC (SIRENE, 2015).

As estimativas foram obtidas pelas equações do produto dos parâmetros *default* descritos na Tabela 15 para cada tipo de GEE conforme a seguir:

- Emissões t CO_2 = FE_{CO2} x FCF x OF x CF x dm x (t) resíduos incinerados.
- Emissões t CH_4 = FE_{CH4} x (t) resíduos incinerados.
- Emissões t N_2O = FE_{N2O} x (t) resíduos incinerados.

Os dados em toneladas de resíduos incinerados são baseados nas quantidades reportadas nos Manifestos de Transporte de Resíduos do INEA (MTR) que são elaboradas pelas Gráficas obrigatoriamente quando é realizada a destinação desses resíduos para empresas de tratamento especializados e usinas de incineração. Para os resíduos Classe IIA a mensuração é baseada na decomposição anaeróbica dos resíduos em aterro sanitário, conforme metodologia da Ferramenta do Programa Brasileiro *GHG Protocol* (2006).

A tabela 15 apresenta as quantidades de resíduos enviados no estudo de caso das indústrias gráficas A e B na série histórica de 2016 a 2018, mediante a soma dos MTR do INEA.

Na ferramenta do GHG Protocol são lançados os dados anuais da quantidade em toneladas de resíduos enviados para o aterro sanitários no respectivo ano do inventário de GEE.

Quando na realização dos cálculos de GEE, também é considerada a composição dos resíduos em porcentagem dos tipos de materiais (orgânico, papel ou madeira entre outros), contudo para maior certeza desses dados seria necessário a implantação de um sistema de coleta seletiva nas organizações inventariadas e a gravimetria dos resíduos, devido à dificuldade operacional para isso, foi utilizado nos cálculos os dados *default* para composição dos resíduos, conforme detalhada na Tabela 16.

Tabela 15 Quantidade de Resíduos em Toneladas Destinados para Aterro por ano.

	Toneladas de resíduos Classe IIA destinados para Aterro / ano		
	2016	**2017**	**2018**
Gráfica A	38,3	35,2	36,1
Gráfica B	13,5	12,8	12,5

Fonte: Autor (2019).

Tabela 16: Composição de Resíduos Classe II destinados para o Aterro (Dados *default*).

Composição do resíduo	**Ano**	**2018**
A - Papéis/papelão	A / Total [%]	20,0 %
B - Resíduos têxteis	B / Total [%]	20,0 %
C - Resíduos alimentares	C / Total [%]	50,0 %
D - Madeira	D / Total [%]	10,0 %
E - Resíduos de jardim e parque	E / Total [%]	0,0 %
F - Fraldas	F / Total [%]	0,0 %
G - Borracha e couro	G / Total [%]	0,0 %
H - Lodo de esgoto	H / Total [%]	0,0 %
Outros materiais inertes	[%]	0,00 %
DOC - Carbono Orgânico Degradável no ano	[tC/tMSW]	0,27

Fonte: Adaptado FGV (2019)

Segundo CETESB (2013), dados levantados junto ao setor gráfico, como a geração de resíduos na produção varia de 5 % a 36 % do volume produzido. O presente trabalho adotou valores de 20 % para resíduos de aparas de papel e tecidos e 10 % para madeira. Uma informação relevante é que o volume de aparas varia-se em função do tipo geométrico do corte do material e determinado pela especificidade do produto (CETESB, 2013).

Embora por conta da degradação da matéria orgânica, as emissões de GEE pela disposição de resíduos em aterros ocorrerem por um período superior a 30 anos após a sua disposição, a FGV (2019) recomenda que todas as emissões deverão ser alocadas no ano de geração do resíduo, uma vez que a organização inventariante não tem poder de gestão dessas emissões.

Os parâmetros, Tabela 17, para quantificação das emissões CO_2, CH_4 e N_2O segundo a Ferramenta de Cálculo do *GHG Protocol* (2019) são:

Tabela 17:Parâmetros para quantificação das emissões de GEE para decomposição de resíduos em Aterro Sanitários.

Parâmetro	Premissas
Zona climática	Foi considerado a temperatura anual média (ºC), precipitação anual (mm/ano) para o município do Rio de Janeiro-RJ fornecidos pelo INMET (2018). Embora o Aterro seja no Município de Seropédica a Ferramenta recomenda que no caso da cidade não esteja cadastrada na Ferramenta selecione a cidade mais próxima para que cálculo considere condições de pluviosidade e temperaturas similares.
Quantidade de resíduos aterrados	Quantidade Resíduos aterrados para o ano do inventário, levando pelo Plano de Gerenciamento de Resíduos e MTR.

Parâmetro	Premissas
Composição dos resíduos destinados para o Aterro	Composição dos resíduos para obtenção da fração de carbono orgânico degradável no ano (t C/ t MSW), conforme descrito na Tabela 16.
Fração de Carbono Orgânico (DOC)	Foi adotada o valor estimado pela ferramenta do *GHG Protocol* de DOC igual a 0,237 tC/tMSW.
Fator de correção de metano (MCF)	O Fator de correção de metano adotado foi igual a 100 % conforme a classificação do aterro sanitário na Ferramenta do *GHG Protocol*.
Fator de Oxidação do Metano	Conforme a Ferramenta do *GHG Protocol* o Fator de Oxidação foi 10 %.
Metano Recuperado	Em função da indisponibilidade de informações sobre a existência de sistema de drenagem de gases, bem como a existência de queimadores e eficiência destes equipamentos, foi utilizado o valor de metano recuperado igual a zero conforme recomendação da metodologia.
Fração de CH_4 no biogás	Fração de CH_4 no biogás. Neste foi adotado o default do IPCC (2006) que é igual a 0,5.

Fonte: Adaptado FGV (2019).

O report das emissões de GEE referente aos tratamentos desses resíduos Classe I e Classe IIA são classificados no Escopo 3 *Upstream* Categoria 5 Resíduos gerados nas operações, conforme as especificações técnicas do Programa Brasileiro GHG Protocol.

2.3. Do Plano de Mitigação para emissões de GEE.

Na metodologia da elaboração do Plano de Mitigação adotou-se os seguintes procedimentos:

1- Avaliar os cenários das emissões de tCO_2 equivalente por ano para identificação dos potenciais fontes de GEE e propor um plano de mitigação tecnicamente viável (ambiental e econômico).
2- Nesse estudo de caso, na metodologia do plano de mitigação adotou como parâmetro para escolha das alternativas de redução de GEE, aquelas que apresentaram menores fatores de emissões para CH_4, N_2O e CO_2 das fontes de GEE inventariadas no triênio de 2016, 2017 e 2018.
3- Pesquisar *cases* de sucesso com aproveitamento de experiências anteriores sobre o tema.
4- Pesquisar sobre três ações para as reduções de $tCO_{2\,eq.}$ que sejam apropriadas ao propósito e ao contexto da atividade, considerando os aspectos ambientais significativos, os riscos e oportunidades de melhoria para o negócio e para o meio ambiente.

Para o setor industrial a redução das emissões de GEE pelo consumo de energia é uma oportunidade ampla para mitigação. No presente caso levou-se em conta as oportunidades de melhorias para cenários de intervenção na gestão ambiental das empresas. Destacou-se os seguintes cenários de oportunidade de melhoria:

- Redução da destinação para aterro dos resíduos classe IIA (plásticos, orgânicos, papel, papelão e madeiras) intervindo no ACV dos resíduos, destinando orgânicos para compostagens e as demais matérias buscando o reuso e reciclagem.
- Redução do consumo de energia elétrica por ações de melhoria na iluminação e uso de energia fotovoltaica.
- Opção por consumo de biocombustíveis na frota intervindo diretamente nas emissões de fontes móveis.

A proposta do plano de mitigação visa um planejamento e seus resultados são expressos em porcentagem (%) de redução de emissões e em unidades de tCO_2 eq.

As organizações podem eleger somente um ano (ano base) ou uma média de series histórica (período base) como base de referência ao estabelecimento de sua meta de redução das emissões de GEE. Diante do exposto o presente trabalho sugere a proposta de mitigação baseada em metas constituídas em referência à média do triênio 2016, 2017 e 2018.

Para comprovação de que as ações propostas no Plano de Mitigação sejam efetivas foi realizada uma projeção da redução das emissões de GEE em função das ações sugeridas, para o ano de 2020, e os resultados dessa estimativa foram comparadas ao cenário da média do triênio 2016 a 2018.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO: ESTUDO DE CASO “PROPOSTA DE REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA INDÚSTRIA GRÁFICA”.

3.1. Resultados dos Inventários de GEE: Quantificação das Emissões

Neste tópico são apresentados os resultados dos inventários de emissões de GEE realizados nas duas indústrias gráficas, com referência ao período de 2016, 2017, 2018 e a média do triênio.

Os perfis das emissões de GEE são semelhantes nas duas organizações demostrando uma a diferença nas emissões marcada pelo porte de cada uma.

3.1.1 Inventários das Emissões de GEE Escopo 1

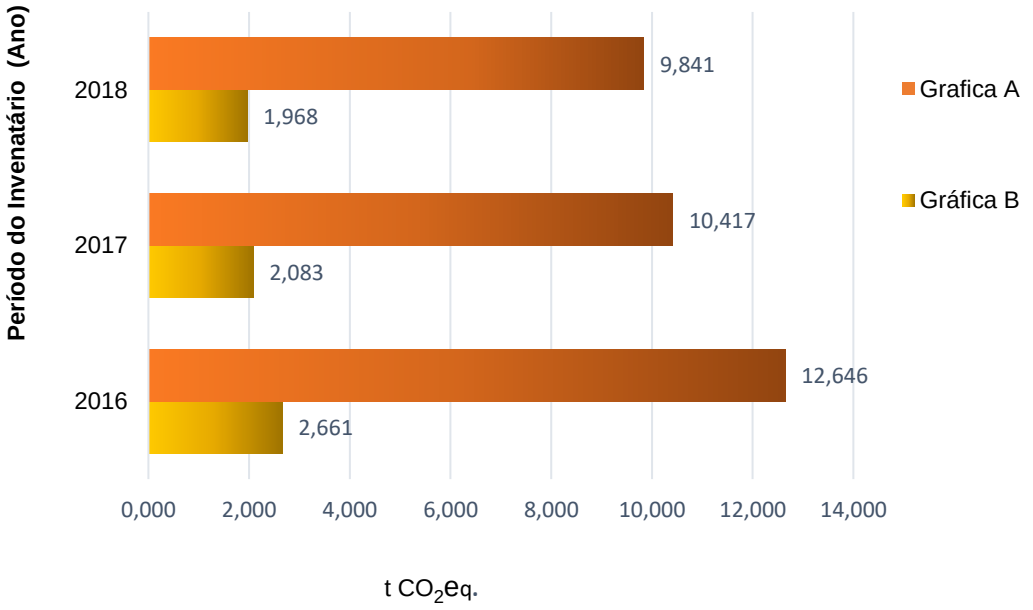
As emissões de escopo 1 são definidas como aquelas cujas fontes diretas fazem parte dos limites de controle da organização. Nesse tópico serão reportados os resultados das emissões de Combustão Móvel e consumo de HFCs.

Os resultados das Gráficas A e B, são expressos em t CO_2eq. e obtidos na conversão das emissões t CO_2, t CH_4 e t N_2O pelos seus respectivos GWP.

As Tabelas 18 e 19 apresentam a quantificação dessas emissões de GEE para fontes de combustão móvel por consumo de óleo diesel e gasolina respectivamente geradas pelo transporte rodoviário em caminhões e veículos leves com a finalidade de entrega de produtos gráficos confeccionados pelas empresas até o seu respectivo cliente final, no período de 2016, 2017 e 2018.

O somatório das emissões de GEE proveniente das combustões moveis totais, considerando o consumo de diesel e gasolina no transporte rodoviário são expressos em $tCO_{2eq.}$ na Figura 21.

Figura 21: Emissões em toneladas métricas de CO2 equivalente Escopo 1 por ano Fontes Móveis Gráfica A e B - Triênio 2016 a 2018.



Fonte: O autor, 2019.

Conforme já relatado no item 2.1, a Gráfica B por ser de menor porte apresentou resultados de emissões inferiores na comparação entre as duas organizações e em ambos inventários observou-se uma redução das emissões em 2017 e 2018 comparado a 2016.

Tabela 18: Emissões de GEE em Toneladas (t) provenientes de Fontes Móveis (consumo de diesel) por ano para as Gráficas A e B no referido triênio de estudo.

GEE ano^{-1}	**GWP**	**Emissões de tGEE ano^{-1} no triênio inventariado na Gráfica A Consumo de Diesel**			**Emissões de tGEE ano^{-1} no triênio inventariado na Gráfica B Consumo de Diesel**		
		2016	**2017**	**2018**	**2016**	**2017**	**2018**
tCO_2	1	5,154	4,226	3,941	1,17	0,85	0,79
tCH_4	25	0,001	0,001	0,001	7,3 x10^{-5}	0,00	0,00
tN_2O	298	0,000	0,000	0,000	6,2x10^{-5}	6,00x10^{-5}	5,63x10^{-5}
$tCO_{2eq.}$		5,278	4,326	4,039	1,19	0,87	0,81
CO_2 biogênico		0,362	0,335	0,394	0,08	0,07	0,08

Fonte: O autor, 2019

Tabela 19: Emissões de GEE em Toneladas (t) provenientes de Fontes Combustão Móvel (consumo de gasolina) por ano para as Gráficas A e B série histórica.

GEE ano^{-1}	**GWP**	**Emissões de tGEE ano^{-1} no triênio inventariado na Gráfica A Consumo de Gasolina**			**Emissões de tGEE ano^{-1} no triênio inventariado na Gráfica B Consumo de Gasolina**		
		2016	**2017**	**2018**	**2016**	**2017**	**2018**
tCO_2	1	7,040	5,811	5,534	1,406	1,162	1,162
tCH_4	25	0,003	0,001	0,001	0,0003	0,0002	0,0002
tN_2O	298	0,001	0,0009	0,0008	0,0002	0,00018	0,000168
$tCO_{2eq.}$		7,361	6,092	5,802	1,474	1,218	1,160
CO_2 biogênico		1,800	0,403	1,412	0,359	0,081	0,297

Fonte: O autor, 2019.

Considerando se tratar de um processo de combustão predominam quantitativamente as emissões de CO_2 em comparação ao CH_4.

Os próximos resultados desse Escopo 1 trata-se das emissões fugitivas de HFC. As atividades consumiram durante o triênio gás refrigerante HFC em aparelhos de ar condicionado ou climatização.

Na Gráfica A, houve aquisição de novos aparelhos de ar condicionados e manutenção de outro, respectivamente, em 2016 e 2018. No caso da Industria Gráfica B observou-se que em 2017 e 2018 não houve troca ou substituição de gás e as emissões nessas fontes foram zero.

Cabe destacar que em função do uso de ar condicionados com sistema de refrigeração com HCFC-22, Clorodifluormetano, as emissões no inventário de GEE das indústrias gráficas são as mais altas no Escopo 1 devido ao seu potencial de aquecimento global GWP ser igual a 1.810 vezes em termos de CO_2 equivalente. Por exemplo, na Gráfica A, as emissões de fontes móveis totais [18] em 2018 resultaram em 9,841 $tCO_{2eq.}$ enquanto, no mesmo ano, as emissões de HFC-22 foram 24,652 tCO_2eq.

[18] Emissões de fontes de combustões móveis totais no Escopo 1 de 9,841 $tCO_{2eq.}$ remete a soma do total de emissões de GEE por combustão de diesel Tabela 17 e de gasolina Tabela 18.

Os resultados das emissões fugitivas[19] foram reportados a seguir conforme a Tabela 20:

Tabela 20: Emissões de HFC-22 Expressos toneladas métricas de CO2 equivalente por ano nas Gráficas A e B para o triênio 2016 a 2018.

GWP HFC -22	**Emissões de HFC-22 no triênio inventariado na Gráfica A, expressos em t CO_2 eq.ano^{-1}**			**Emissões de HFC-22 no triênio inventariado na Gráfica B, expressos em t CO_2 eq.ano^{-1}**		
1.810	**2016**	**2017**	**2018**	**2016**	**2017**	**2018**
	24,652	0,000	24,652	24,652	0,000	0,000

Fonte: O autor, 2019

3.1.2 Inventários das Emissões de GEE Escopo 2

No Brasil conforme apresentado no item 1.3 figura 1 o setor de energia é a segunda maior fonte de emissões de GEE ficando atrás somente da agropecuária, pelo uso de mudança do solo. Comparando aqui ao um cenário de duas indústrias gráficas o destaque das emissões pelo consumo de energia não será diferente do âmbito geral. A emissões geradas pelo consumo de energia nesse estudo de caso apresentaram valores significativos e superiores em relação às outras fontes.

As emissões foram calculadas em tCO_{2eq} em função da metodologia adotada e referenciada aos critérios do Programa Brasileiro do GHG Protocol da FGV, do IPCC 2006 e da Norma ABNT NBR ISO14064-1:2007. Esses resultados estão apresentados para duas empresas são apresentados na Tabela 21 para o triênio de 2016, 2017 e 2018. As figuras 22 e 23 apresentam as emissões de GEE pelo consumo de energia elétrica no período em estudo.

[19] Emissões Fugitivas de Escopo 1 trata-se de uma definição do GHG *Protocol* referente as emissões de consumo de gás refrigerantes e extintores de incêndio.

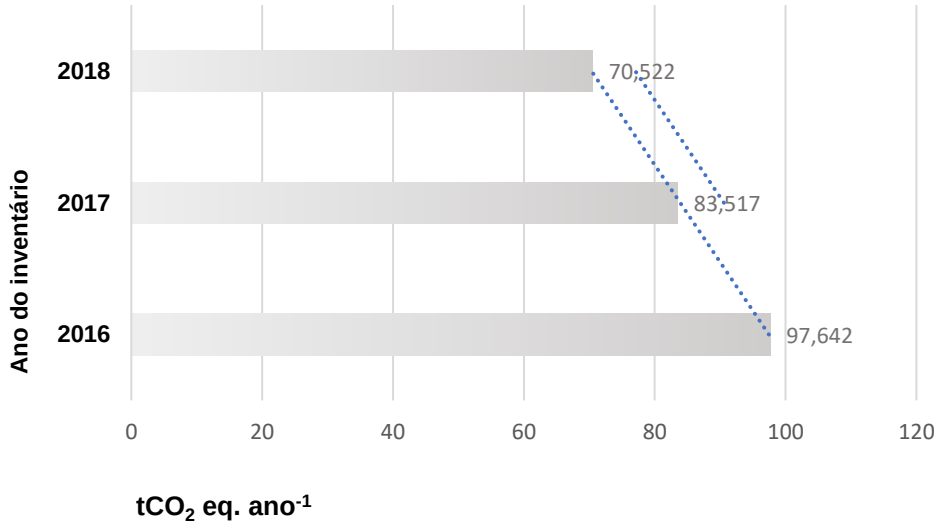
Tabela 21: Emissões em tCO2eq.ano^{-1} Escopo 2 Consumo de Energia Elétrica fornecida pelo SIN.

	GWP	**Emissões de consumo de Energia Elétrica tGEE ano^{-1} no triênio inventariado na Gráfica A**			**Emissões de consumo de Energia Elétrica tGEE ano^{-1} no triênio inventariado na Gráfica B**		
		2016	**2017**	**2018**	**2016**	**2017**	**2018**
tCO_2	1	97,642	83,517	70,522	24,313	24,793	14,502
$tCO_{2eq.}$		97,642	83,517	70,522	24,313	24,793	14,502
Média do triênio			83,893			21,203	

Fonte: O autor, 2019.

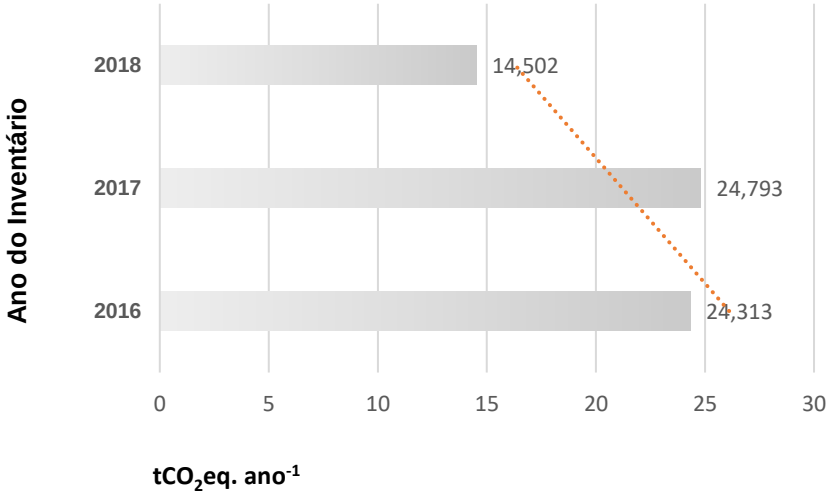
Conforme consta na tabela 21 foram calculadas também a média das emissões anuais de GEE do triênio que pela metodologia escolhida será o ano base para comparação e verificação das futuras reduções de GEE pelo plano de mitigação.

Figura 22: Emissões indiretas de GEE em tCO2eq ano^{-1} pelo consumo de Energia Elétrica do SIN na Gráfica A.



Fonte: O autor, 2019.

Figura 23: Emissões indiretas de GEE em tCO2eq ano^{-1} pelo consumo de Energia Elétrica do SIN na Gráfica B.



Fonte: O autor, 2019.

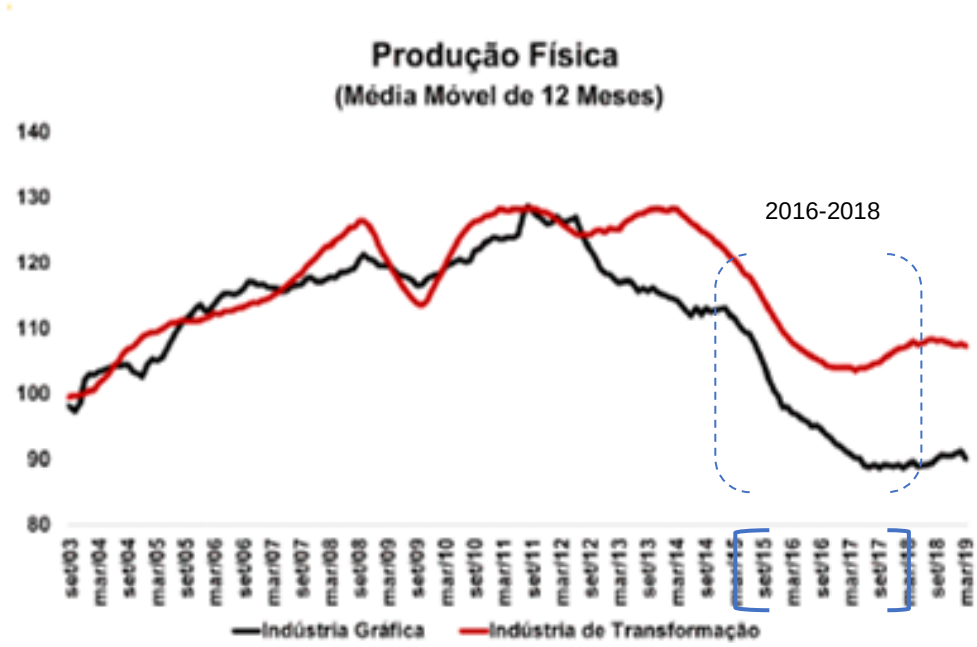
A indústria gráfica A apresentou dentro do triênio uma redução nas emissões de GEE pelo consumo de energia que se caracterizou mais acentuada no período de 2018. Essa redução é observada da seguinte forma de 2016 a 2017 de -14,5 %; de 2017 a 2018 13,2 %; e 2016 a 2018 - 27,7 % nas emissões em tCO_2eq de 2016 a 2018 houve uma queda nas emissões correspondente a -27,12 tCO_2eq.

Na gráfica B o perfil dessas emissões no triênio se repetiu entre 2016 a 2018 onde houve uma redução de -9,8 t CO_2eq. Mas de 2016 a 2018 houve um acréscimo nas emissões de GEE de 0,480 tCO_2eq.

Esse aspecto deve-se a redução da atividade em função da crise econômica no Estado do Rio de Janeiro e a resseção da indústria conforme dados do CNI e FIRJAN (2018). Um outro fator foi a realização do evento esportivo internacional no ano de 2016 - Jogos Olímpicos Rio 2016 - na cidade do Rio de Janeiro que pode ter aumentado a demanda por artigos de publicidades nas gráficas e o bom resultado na produção da industrial gráfica no estado do Rio de Janeiro.

Segundo dados da ABGRAIF Nacional (2019) e do IBGE (2019)[20] a produção na indústria gráfica em média considerando os 12 meses de cada ano apresentou uma queda da produção física nos períodos de 2016 a 2018. Assim pode ser explicada a aqueda no consumo de energia observados nas duas empresas pelo cenário econômico no Brasil, durante o período que registrou a redução na produção. A Figura 24 apresenta o cenário de produção física com a média móvel de 2003 a 2019, onde é possível observar a queda da produção na indústria gráfica (linha preta) de 2016 a 2018.

Figura 24: Serie temporal de 2003 a 2019 da Produção Física no Brasil da Industria de Transformação e da Indústria Gráfica.



Fonte: ABIGRAF, 2019; IBGE, 2019. (IBGE, 2019)

3.1.3 Inventários das Emissões de GEE Escopo 3 *Upstream* Categorias 4-Transporte e Distribuição e 5-Resíduos gerados nas operações

Os resultados obtidos pela Ferramenta do Programa Brasileiro *GHG Protocol* da FGV para as fontes de emissões indiretas considerando os estágios de ciclo de

[20] PIM IBGE

vida são reportadas no Escopo 3 (*Upstream*) : Categoria 5 Transporte & Distribuição e Categoria 4 resíduos sólidos de operação.

Estes resultados do Escopo 3 contemplam as emissões em toneladas de CO_2, CH_4, N_2O e CO_2 equivalente proveniente de três tipos de fontes uma de transporte e duas de tecnologia de tratamento de resíduos, conforme:

- Emissões de combustão móvel do transporte rodoviário de resíduos Classe I e Classe IIA por terceiros;
- Emissões da tecnologia de tratamento final de resíduos, em aterro sanitário para resíduos não perigosos e não inertes, Classe IIA, e por incineração para resíduos perigosos, Classe I, por empresas terceirizadas.

A Tabela 24 apresenta os resultados das Emissões de GEE referente as emissões indiretas de motores de caminhões à diesel para o transporte de resíduos das gráficas ao Centro de Tratamento de Resíduos em Seropédica no triênio de 2016, 2017 e 2018.

Tabela 22: Resultados das Emissões de GEE - Escopo 3 *Upstream* Categoria 4 Transporte e Distribuição - Transporte de Resíduos Classe IIA por terceiros.

		Emissões em t de GEE no triênio inventariado na Gráfica A:			**Emissões em t de GEE no triênio inventariado na Gráfica B:**		
		TRANSPORTE DE RESÍDUOS CLASSE IIA			TRANSPORTE DE RESÍDUOS CLASSE IIA		
GEE	**GWP**	**2016**	**2017**	**2018**	**2016**	**2017**	**2018**
ano^{-1}							
tCO_2	1	1,128	1,062	1,041	0,343	0,291	0,285
tCH_4	25	0,0002	0,0002	0,0002	$4{,}8 \cdot 10^{-5}$	$4{,}0 \cdot 10^{-5}$	$4{,}0 \cdot 10^{-5}$
tN_2O	298	0,0001	0,0001	0,0001	$2{,}4 \cdot 10^{-5}$	$2{,}0 \cdot 10^{-5}$	$2{,}0 \cdot 10^{-5}$
$tCO_{2\ eq.}$		1,156	1,089	1,067	0,351	0,299	0,2928
Emissões CO_2 Biogênico		0,079	0,084	0,104	0,024	0,023	0,029

Fonte: O autor, 2019.

A Tabela 23 apresenta os resultados das Emissões de GEE referente as emissões indiretas de motores de caminhões à diesel no transporte de resíduos das gráficas para o Centro de Tratamento de Resíduos por Incineração, no triênio de 2016, 2017 e 2018. No quadro das emissões indiretas que correm via transporte verificou-se uma variação no triênio de 2016 a 2018 de -39 % correspondente a 0,670 tCO_2eq.na gráfica A.

Tabela 23 Resultados das Emissões de GEE Escopo 3 *Upstream* Categoria 4 Transporte e Distribuição – Fonte Transporte de Resíduos Classe I para Incineração.

GEE ano^{-1}	**GWP**	Emissões de t de GEE no triênio inventariado na Gráfica A			Emissões de t de GEE no triênio inventariado na Gráfica B		
		TRANSPORTE DE RESÍDUOS CLASSE I			**TRANSPORTE DE RESÍDUOS CLASSE I**		
		2016	**2017**	**2018**	**2016**	**2017**	**2018**
tCO_2	1	1,670	1,035	1,015	0,343	0,218	0,213
tCH_4	25	0,0002	0,0001	0,0001	0,00005	0,00003	0,0003
tN_2O	298	0,0001	$2,0 .10^{-5}$	$7,0.10^{-5}$	$2,0 .10^{-5}$	$2,0 .10^{-5}$	$2,0 .10^{-5}$
$tCO_{2\ eq.}$		1,710	0,223	1,039	0,351	0,223	0,218
Emissões CO_2 Biogênico		0,117	0,018	0,101	0,016	0,018	0,022

Fonte: O autor, 2019.

Na gráfica B a variação foi de -38 % correspondente a 0,133 tCO_2eq.

Como descrito no item 2.2.5, os resíduos classe IIA são destinados via modal rodoviário para o Aterro Sanitário de Seropédica RJ. Os aterros Sanitários por sua vez são fontes significativas de emissões de GEE.

O presente trabalho avaliou as emissões dos resíduos gerados pelas gráficas, que somadas emitiram em média 80,609 tCO_2eq., considerando o ciclo de vida do resíduo classe IIA, desde o transporte até à disposição do resíduo no aterro.

O último estudo realizado sobre GEE no aterro de Seropédica utilizando a Ferramenta do *GHG Protocol* ocorreu em 2018, de acordo com Borba et al. (2018),

estimou-se que as emissões do aterro foram de 1.005.381,403 tCO2eq.ano-1, pelo resultado da quantidade de resíduos depositados no ano de 2014. Portanto considerando essa referência, a contribuição das emissões estimadas de 79,353 tCO_2 das gráficas no aterro que equivalem a 0,008% na média do triênio.

A Tabela 24 demostra os resultados dos cálculos das emissões de correntes da decomposição dos resíduos classe IIA no Aterro Sanitário de Seropédica-RJ das duas Gráficas no período de 2016, 2017 e 2018.

Tabela 24 Resultados das Emissões de GEE Escopo 3 *Upstream* Categoria 5 Resíduos gerados nas operações por ano - Fonte Tratamento de Resíduos Classe IIA.

GEE ano^{-1}	**GWP**	**Emissões de t de GEE no triênio inventariado na Gráfica A Tratamento de Resíduos Classe IIA – Aterro.**			**Emissões de t de GEE no triênio inventariado na Gráfica B Tratamento de Resíduos Classe IIA – Aterro.**		
		2016	**2017**	**2018**	**2016**	**2017**	**2018**
t resíduos		38,3	35,2	36,1	13,5	2,8	12,5
tCH_4	25	2,467	2,256	2,313	0,865	0,820	0,801
tCO_2 eq.		61,678	56,392	57,834	21,628	20,506	20,025

Fonte: O Autor, 2019.

Os cálculos das emissões indiretas da incineração de seus resíduos, uma vez que são emitidas fora dos limites físicos das gráficas, foram realizadas com base na metodologia do IPCC (2006).

Nesses cálculos os resultados das emissões de CH_4 e N_2O foram muito inferiores comparados as emissões de CO_2, como exemplo, em 2016 na Gráfica A, amostragem de maior valor das emissões foram de $4{,}41 \cdot 10^{-4}$ tCH_4 e $7{,}35 \cdot 10^{-4}$ tN_2O correspondente a 0,001 tCO_2eq. e 0,219 tCO_2eq. respectivamente, enquanto as emissões de CO_2 foram de 8,487 tCO_2eq. Embora os valores de GWP de CH_4 e N_2O sejam 25 e 298 vezes maiores que ao GWP do CO_2 esses resultados são pouco expressivos no contabilização final em tCO_2 eq.

Na Tabela 25 são apresentadas as emissões indiretas referente à incineração de resíduos Classe I que compreende resíduos de materiais sujos de tinta tais como restos de embalagens de produtos, estopas de limpeza de máquinas.

Tabela 25 Resultados das Emissões de GEE Escopo 3 *Upstream* Categoria 5 Resíduos gerados nas operações por ano - Fonte Tratamento de Resíduos Classe I para Incineração.

GEE ano^{-1}	**GWP**	**Emissões de t de GEE no triênio inventariado na Gráfica A Tratamento de Resíduos Classe I - Incineração**			**Emissões de t de GEE no triênio inventariado na Gráfica B Transporte de Resíduos Classe I - Incineração**		
		2016	2017	2018	2016	2017	2018
tCO_2	1	8,487	7,811	7,140	1,342	1,121	1,010
tCH_4	25	$4,41 . 10^{-5}$	$4,06 .10^{-6}$	$3,71 .10^{-6}$	$8,05 .10^{-6}$	$6,73 .10^{-6}$	$6,06 .10^{-6}$
tN_2O	298	$7,35 .10^{-4}$	$6,76 . 10^{-4}$	$6,18 .10^{-4}$	$1,34 . 10^{-4}$	$1,12 . 10^{-4}$	$1,01 . 10^{-4}$
tCO_2 eq.		8,707	8,013	7,324	9,582	1,504	1,132

Fonte: O autor, 2019.

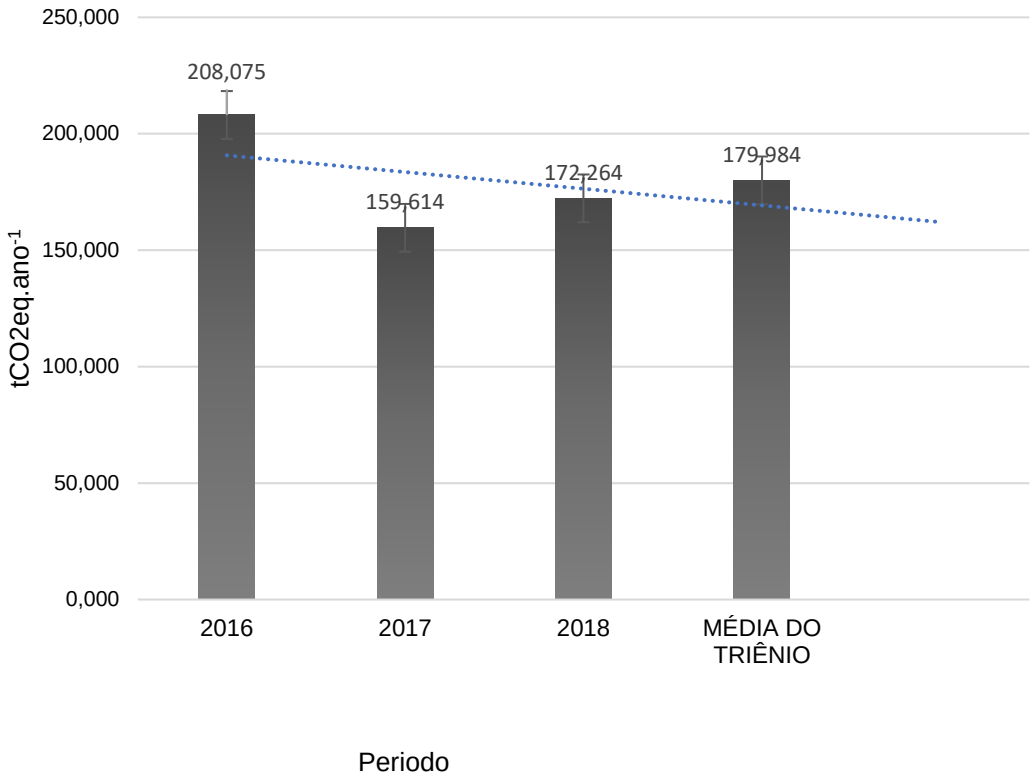
Sobre esses resultados cabe destacar também, sobre a diferença das emissões de CH_4 e N_2O em relação ao CO_2 é apontada na literatura um vez que segundo Hwang et al. (2017), em medições de GEE realizadas em plantas de incineradores de resíduos na Korea do Sul, os resultados mostraram que as emissões de CO_2 foram superiores em comparação as de CH_4 e N_2O, ao ponto de serem materialmente insignificantes dentro do cenário de emissões avaliado.

3.1.4 Resultado geral Inventário das Emissões de GEE

O ano de 2016 foi o período de maior emissão nas indústrias gráficas estudadas, isso possivelmente influenciado pelo cenário de mercado, incentivado no período pelos jogos da XXXI Olimpíadas realizada na cidade do Rio de Janeiro e que de certa forma demandou o consumo de material figura promocional para divulgação e *marketing* do evento.

Conforme demonstra a figura 25 as emissões totais de 2016, 2017 e 2018 sofrem um declínio na geração dessas emissões de GEE. Observa-se mais uma vez segundo dados do IBGE houve uma significativa queda da produtividade industrial de modo geral. A partir desses resultados foi obtida a média do triênio que servirá de ano base para comparar as ações de redução de GEE no Plano de Mitigação.

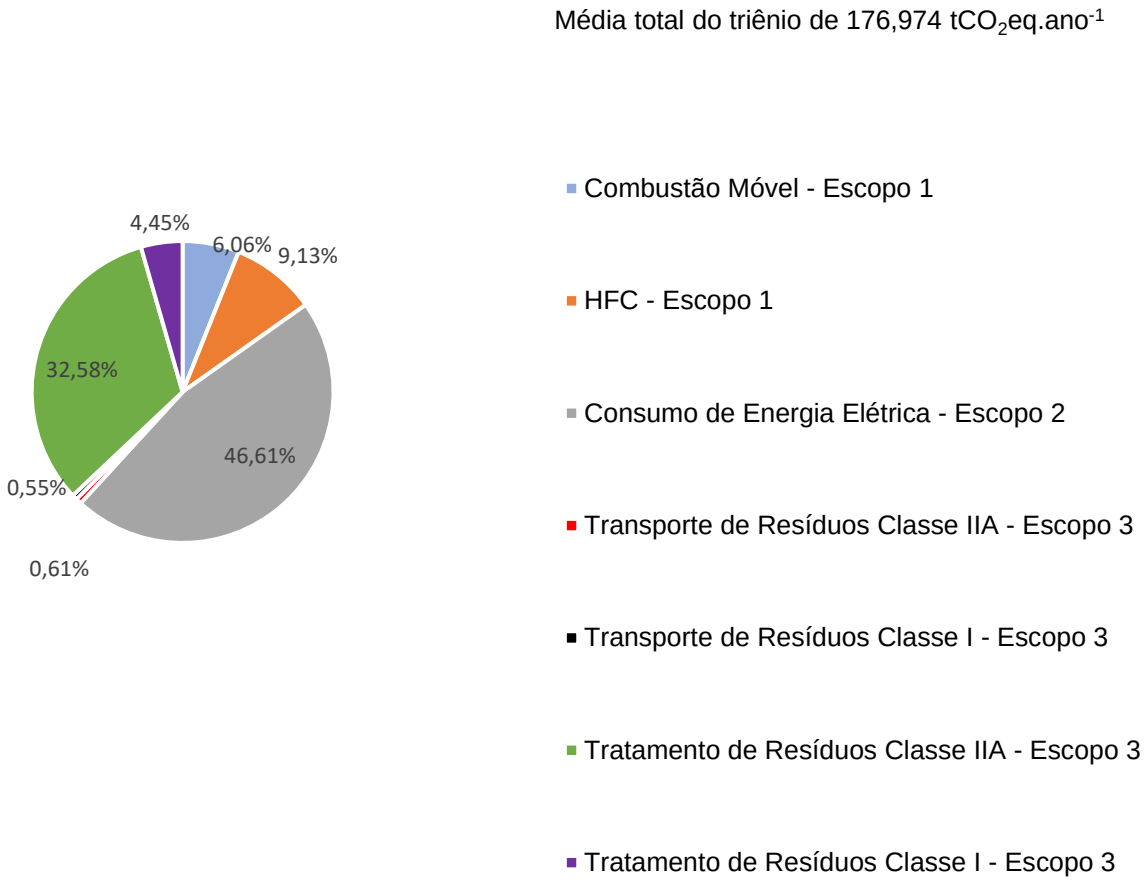
Figura 25: Resultados das Emissões Totais em $tCO_2eq.$ na série histórica de 2016, 2017 e 2018 e Média do Triênio.



Fonte: O autor,2019.

A Gráfica A no triênio em estudo, conforme as informações de GEE, emitiu em média 179,984 toneladas métricas de CO_2 equivalente por ano. A Figura 26 é apresenta a contribuição de cada fonte nos escopos inventariados para a média do período de 2016 a 2018.

Figura 26: Percentual de Contribuição das fontes de emissões de GEE em tCO2 equivalente por ano considerando a média aritmética do triênio 2016, 2017 e 2018 da Gráfica A (médio porte).



Fonte: O autor, 2019.

O destaque dos resultados foi a identificação do perfil de emissões de GEE para setor gráfico, onde predomina as emissões no consumo de energia elétrica, para atender aos processos de impressão e demais maquinários.

As emissões do Escopo 2, do consumo de energia elétrica, corresponderam a 46,61 % das emissões inventariadas, seguido das emissões do Escopo 3 *Upstream* referentes ao tratamento de resíduos Classe IIA destinados para Aterro Sanitário correspondendo a 32,58 %. As maiores fontes de emissões foram consumo de energia e geração e tratamento de resíduos.

A Tabela 26: Emissões em Totais de GEE em tCO2eq. Gráfica A. apresenta os resultados para emissões totais da série histórica de 2016 a 2018 e a média do triênio

que será aplicada em 2019 para ser considerado como ano base no Plano de Mitigação.

Tabela 26: Emissões em Totais de GEE em tCO_2eq. Gráfica A.

Escopo	**Fonte e GEE**	**Emissões em toneladas métricas de CO_2 equivalente**			
		2016	**2017**	**2018**	**Média do Triênio**
Escopo 1	**Combustão móvel - Frota Própria**	12,530	10,381	9,824	10,912
	HFC	24,652	0,000	24,652	16,435
Escopo 2	**Energia**	97,642	83,517	70,522	83,894
Escopo 3 *Upstream* (Categoria 4 Transporte e distribuição)	**Transporte de resíduos Classe IIA Combustão móvel**	1,1555	1,0885	1,067	1,104
	Transporte de resíduos Classe I Combustão móvel	1,7100	0,223	1,039	0,991
Escopo 3 *Upstream* (Categoria 5 Resíduos gerados na operação)	**Tratamento de resíduos Classe IIA**	61,678	56,392	57,834	58,635
	Tratamento de resíduos Classe I	8,707	8,013	7,324	8,015
Total		208,075	159,614	172,264	179,984

Fonte: O autor,2019.

Conforme observado nos resultados do Escopo 1, as emissões GEE de HFC superaram na conversão para CO_2 equivalente as emissões de fontes combustão móveis, contendo 9,29 % das emissões de GEE no estudo contra 6,17 % das emissões de fontes móveis da frota própria.

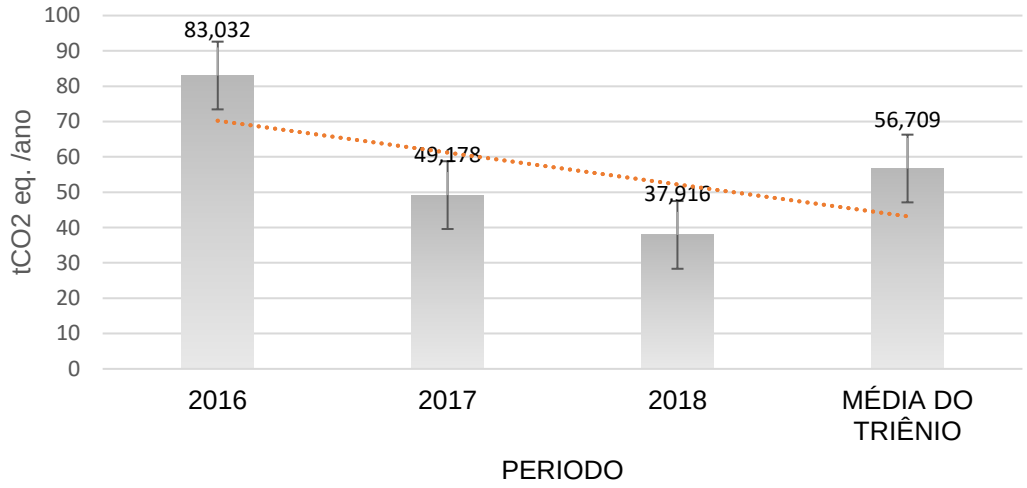
O resultado esperado devido ao fator de GWP de 1.888 do R-22 é alto em comparação ao GWP do CH_4 e do N_2O, gases da combustão do diesel em motores automotivos.

Observa-se que na gráfica A os valores médios dos triênios para essas emissões do transporte de resíduos por terceiros foram pouco representativas chegando a menos de 1 % das emissões totais de GEE.

Na Gráfica B, de pequeno porte, as emissões quantitativamente foram menores apresentando uma diferença de - 123,275 $tCO_{2\ eq.}$ em comparação a Gráfica A. A Gráfica B em emissões corresponde apenas a 31% da Gráfica A. Mas o perfil das fontes de emissões se manteve pela predominância das emissões de GEE no consumo de energia elétrica e no tratamento de resíduos.

A figura 27 apresenta as emissões totais em $tCO_{2eq.}$ para os períodos de 2016 a 2018 e a média do triênio. Na mesma figura observa-se a variação das emissões entre os anos de 2016 a 2018 de 45 tCO_2eq.

Figura 27: Emissões totais de GEE da "Gráfica B" de 2016 a 2018 e média do triênio.



Fonte: O autor,2019.

A figura 28 apresenta o percentual das contribuições por fonte de cada escopo considerando a média total do triênio de 56,709 $tCO_2eq\ ano^{-1}$.

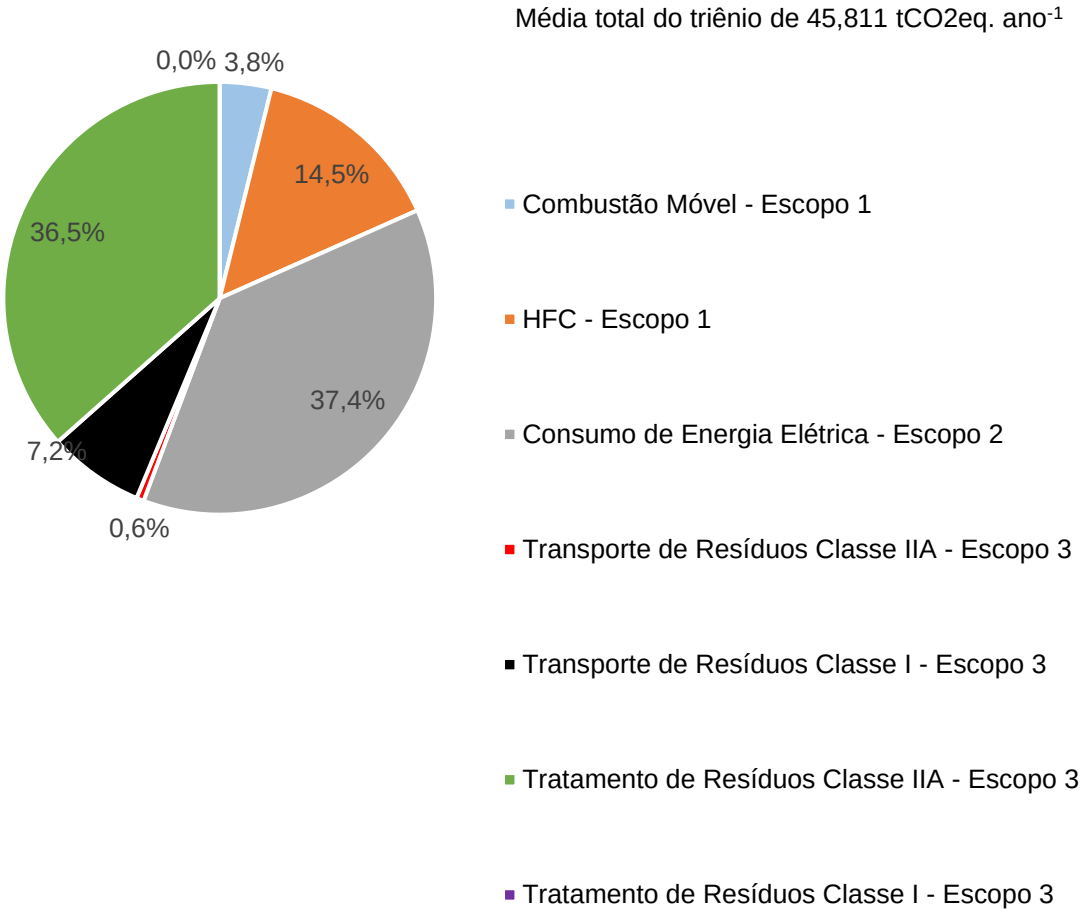
Os resultados das emissões de GEE na indústria Gráfica B apresentaram 37,4 % das emissões no Escopo 2 seguido do Escopo 3 - tratamento de resíduos tipo classe IIA, 36,5 %, e uso de HFC com 14,5 %.

Os resultados apresentaram um aspecto peculiar na indústria gráfica, o perfil das suas emissões é predominantemente indireto, ou seja, além dos limites de suas instalações, uma vez que foi observado quantitativamente que os GEE estão

concentrados no Escopo 2 (compra de energia elétrica) e Escopo 3 (transporte e tratamento de resíduos por terceiros).

Na Tabela 29 é apresentada a consolidação dos resultados das emissões por fonte e escopo em termos de tCO_2eq. obtidos nos inventários elaborados na Gráfica B com finalidade de instruir o Plano de Mitigação de GEE.

Figura 28: Percentual de Contribuição das fontes de emissões de GEE em tCO_2 equivalente por ano considerando a média do triênio 2016, 2017 e 2018 da Gráfica B (pequeno porte).



Fonte: O autor, 2019.

Tabela 27: Tabela Emissões em Totais de GEE em tCO_2eq. Gráfica B.

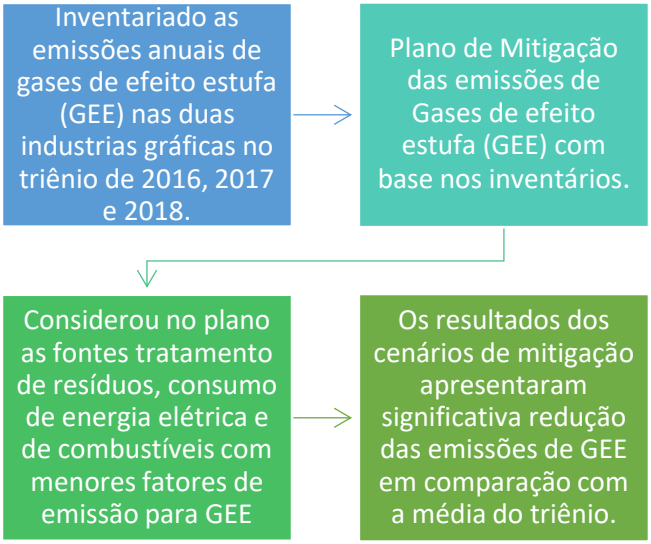
Escopo	Fonte e GEE	Emissões em toneladas métricas de CO_2 equivalente			
		2016	2017	2018	Média do Triênio
Escopo 1	**Combustão móvel - Frota Própria**	2,506	2,076	1,964	2,182
	HFC	24,652	0,000	0,000	8,217
Escopo 2	**Energia**	24,313	24,793	14,502	21,203
Escopo 3 *Upstream* (Categoria 4 Transporte e distribuição)	**Transporte de resíduos Classe IIA Combustão móvel**	0,351	0,299	0,293	0,314
	Transporte de resíduos Classe I Combustão móvel	9,582	1,504	1,132	4,073
Escopo 3 *Upstream* (Categoria 5 Resíduos gerados na operação)	**Tratamento de resíduos Classe IIA**	21,628	20,506	20,025	20,720
	Tratamento de resíduos Classe I	9,582	1,504	1,132	4,073
Total		83,032	49,178	37,916	56,709

Fone: O autor, 2019.

3.2. Proposta de Plano de Mitigação para Emissões de GEE.

Nessa etapa do trabalho considerou os resultados dos inventários obtidos nas duas gráficas e as alternativas de redução das emissões de GEE para o estudo de caso. A figura 29 apresenta o esquema geral do Plano de Mitigação proposto.

Figura 29: Diagrama da Proposta Plano de Mitigação das Emissões de Gases de Efeito Estufa para as duas empresas Gráficas no estudo de caso.



Fonte: O autor, 2020.

Considerando que as emissões de GEE se concentraram no Escopo 2, caracterizadas pelas emissões indiretas mediante ao consumo de energia elétrica e no Escopo 3 referentes aos tratamentos de resíduos, pode-se levar em conta que essas fontes terão maior potencial para ações que promovam a redução das emissões de GEE.

A proposta do Plano de Mitigação terá abordagem em ações sobre os tópicos a seguir:

- Gestão de Resíduos com incentivo a reciclagem e compostagem de resíduos orgânicos;
- Maior consumo de biocombustíveis para fontes móveis;
- Eficiência Energética e o uso de energia fotovoltaica;

Um dos desafios para elaboração do plano de mitigação além da escolha das fontes e das respectivas ações que possibilitem a redução das emissões de GEE foi o estabelecimento de metas. As metas são parte fundamental dos planos de mitigação. Não existe ainda um consenso sobre definição de metas padrões para setores da economia e atividades industriais. As definições de meta para organizações são baseadas em decisões próprias e voluntárias.

Contudo é sabido que o acordo brasileiro junto à COP21 em 2016 para redução emissões de GEE à nível nacional foi de:

- 37 % de redução das emissões de GEE até 2025, comparadas com as emissões do ano base 2005.
- 43 % de redução das emissões de GEE até 2030, comparadas com as emissões do ano base 2005.

3.2.1. Redução das Emissões de CH_4 pela Gestão de Resíduos Sólidos.

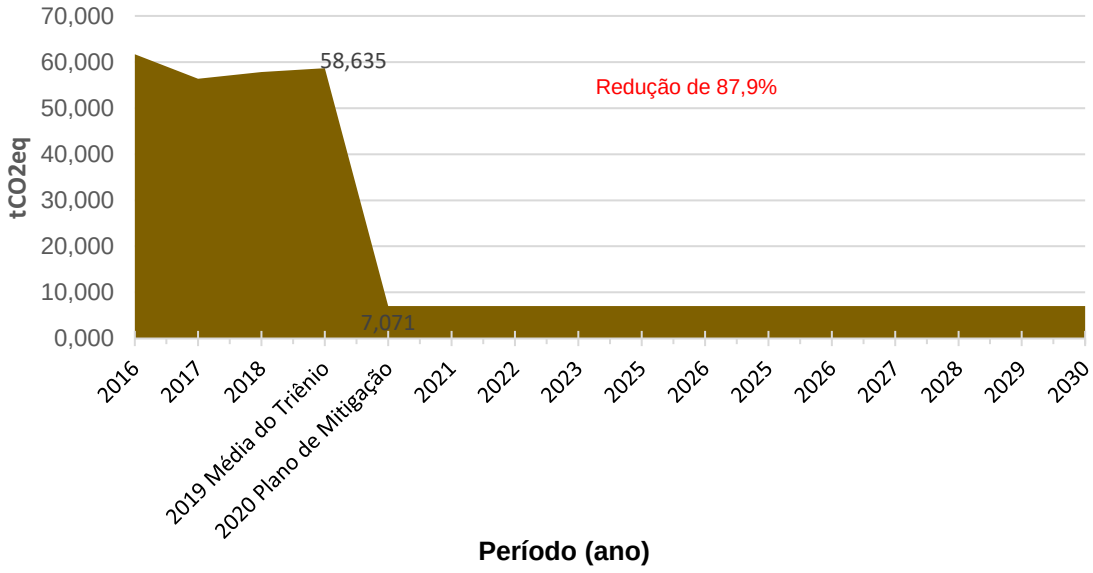
Através da Ferramenta de Cálculo de emissões de GEE do Programa Brasileiro *GHG Protocol* e das diretrizes da metodologia do IPCC (2006) foi possível mensurar as emissões de CH_4 evitadas com opção no tratamento de resíduos orgânicos através da compostagem anaeróbica e pela reciclagem de materiais como plásticos, papel, papelão, tecidos e madeiras, em vez de enviá-los ao aterro sanitário.

Face ao exposto, o presente trabalho apresentou como umas das propostas para o Plano de Mitigação das Emissões de GEE o gerenciamento de resíduo como oportunidade de melhoria.

Para o Plano de Mitigação adotou-se um cenário no qual todos, ou seja 100 %, dos resíduos de papel, papelão e tecidos e a metade, 50 %, dos resíduos de madeiras seriam enviados para reciclagem interna ou externa e, 100 %, dos resíduos orgânicos para compostagem anaeróbica.

Na Gráfica A os resultados do estudo de caso demostraram que a opção pela reciclagem dos resíduos de plásticos, papel, papelão, madeira e compostagem de resíduos orgânicos contribuirão para redução das emissões indiretas de CH_4 em 87,9 % das emissões do Escopo 3 Tratamento de Resíduos Classe IIA, conforme consta na figura 30, a partir do Plano de Mitigação com início em 2020 comparando a média da série histórica de 2016 a 2018 aplicada ao cenário de 2019 (ano base).

Figura 30: Emissões toneladas métricas de GEE do Tratamento de Resíduos Classe IIA na Industria Gráfica A partir do Plano de Mitigação.



Fonte: O autor, 2019.

Considerando como referência a média total das emissões de GEE do triênio essas emissões correspondem a uma redução de 28,7 % das emissões totais em tCO_2eq. A Tabela 30 apresenta os resultados das emissões de GEE e redução com base na média da série histórica de 2016 a 2018 para gráfica A. O cenário de mitigação proposto resultou nas emissões de apenas 7,071 tCO_2 para atmosfera e evitou as emissões de 51,564 tCO_2eq.

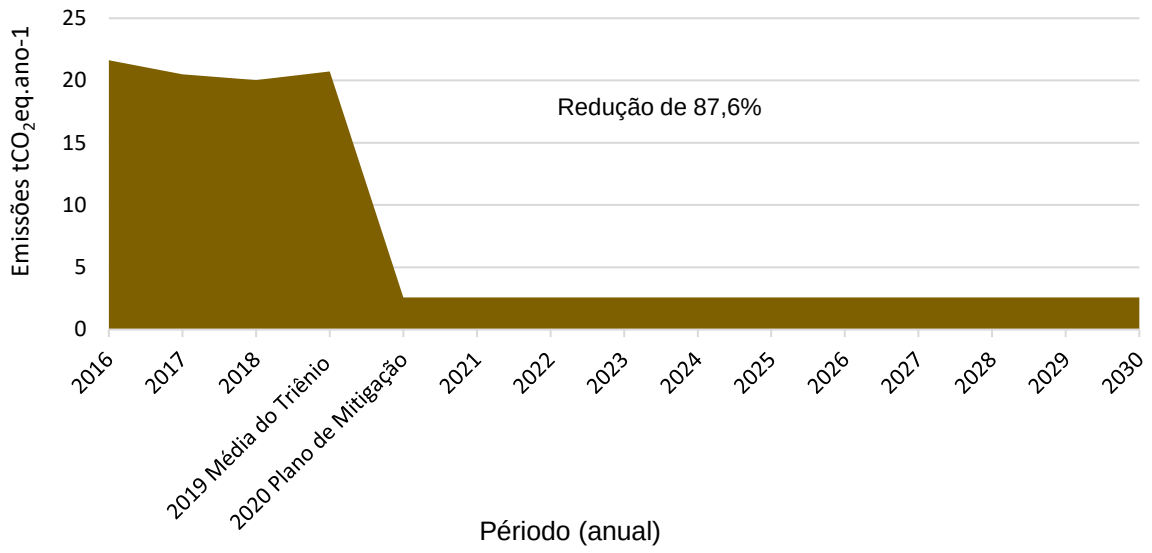
Tabela 28: Resultados das Emissões de GEE estimadas a partir do Plano de Mitigação por tratamento de resíduos na Industria Gráfica A.

GEE	**Plano de Mitigação**			**Média do Triênio (ano base)**	**Emissões em toneladas métricas de CO2eq evitadas**	**Percentual de Emissões de CO_2eq reduzidas no Escopo (Fonte)**
	Compostagem Anaeróbica	Aterro	Total	Aterro	Aterro	**Aterro**
tCH_4	0,073	0,150	0,233	2,345	1,962	-83,7 %
tN_2O	0,005	-	-	-	-	-
tCO_2eq	3,315	3,756	7,071	58,635	-51,564	-87,9 %

Fonte: O autor, 2019.

Na Gráfica B as reduções também foram significativas conforme pode ser observado no e na Tabela 29: Resultados das Emissões de GEE estimadas a partir do Plano de Mitigação na Industria Gráfica B. onde apresentam-se os resultados das simulações para os cenários de emissões indiretas a partir do Plano de Mitigação proposto para essa fonte.

Figura 31: Cenário de Reduções das Emissões de GEE em tCO2eq na Gráfica B a partir do Plano de Mitigação para Escopo 3 Tratamento de Resíduos Não Perigosos.



Fonte: O autor, 2019.

Tabela 29: Resultados das Emissões de GEE estimadas a partir do Plano de Mitigação na Industria Gráfica B.

GEE	**Plano de Mitigação**			**Média do Triênio (ano base)**	**Emissões em toneladas métricas de CO2eq evitadas**	**Percentual de Emissões de CO_2eq reduzidas no Escopo (Fonte)**
	Compostagem	**Aterro**	**Total**	**Aterro**	**Aterro**	**Aterro**
CH_4	0,026	0,053	0,079	0,829	-	-
tN_2O	0,002	-	-	-	-	-
tCO_2eq	1,246	1,325	2,571	20,720	-18,145	-87,6 %

Fonte: O autor, 2019.

No cenário do Plano de Mitigação, com início projetado para ano de 2020, foi obtida uma redução de 87,6 % nas emissões de GEE para o Escopo 3 Tratamento de Resíduos Classe IIA.

O cenário para mitigação considerou a redução da destinação dos resíduos para o aterro sanitário adotando um gerenciamento de resíduos alternativo, com base em ações de reciclagem e compostagem que resultaram nas emissões de 2,571 tCO_2eq emissões viáveis para um plano de mitigação comparando emissões da média do triênio de 20,270 $tCO_{2eq}\ ano^{-1}$, ou seja, evitando a emissão de 18,154 tCO_2eq. para atmosfera.

Os incentivos a compostagem de resíduos são amplamente divulgados no mundo e por diversos pesquisadores por exemplo, segundo Awasthi et al. (2019) e Mu et al. (2017). A compostagem oferece muitos benefícios além de menores emissões de GEE, que são o aproveitamento de subprodutos da compostagem que podem ser aplicados como fertilizantes, sendo a alternativa mais viável para desviar esses resíduos dos aterros, que por sua vez são grandes emissores de CH_4.

Das opções de destinação final de resíduos as opções no reprocessamento de resíduos, reciclagem, e a compostagem orgânica são as alternativas que resultam em menores emissões de GEE, comparada aos tratamentos por aterro sanitário ou incineração (PIN et al., 2018).

Em termos de contribuição para ações do aquecimento global as duas gráficas juntas participariam com - 69,709 $tCO_2eq\ ano^{-1}$ emissões evitadas para atmosfera.

3.2.2. Redução das Emissões de CO_2eq. pelo uso de Biocombustíveis

Neste trabalho é apresentado Plano de Mitigação para emissões de fontes móveis com base no aumento de consumo de biocombustíveis em substituição de parte de diesel e a gasolina. O cenário de mitigação considerou o ano base, definido como a média do triênio que emitiram para atmosfera 10,968 tCO_2eq na Industria Gráfica A e 10,912 tCO_2 eq na Gráfica B. Os cálculos consideraram o consumo em litros de gasolina, diesel, etanol e biodiesel.

Em busca desse objetivo foi construído ações para promover o plano de mitigação aplicando a alternativa de aumentar o volume em litros do consumo de biocombustíveis, porque esses apresentam os menores fatores de emissões para CH_4, N_2O e CO_2.

No presente estudo de caso criou-se um plano de substituição de combustíveis fosseis pelos biocombustíveis de forma gradativa, objetivando reduzir as emissões de CO_2eq na atmosfera. O plano proposto considerou a substituição parcial de gasolina por álcool (etanol) e do diesel B10 por com uma porcentagem maior de B100.

Conforme descrito na Metodologia foi aplicado na simulação para realização dos cálculos na Ferramenta do Programa Brasileiro *GHG Protocol* os seguintes cenários de consumo:

- Cenário de Mitigação das emissões de GEE oriundas do transporte rodoviário com veículos automotivos leves I: Substuição de 30 % do consumo de gasolina pela mesma parcela de etanol ano.
- Cenário de Mitigação das emissões de GEE oriundas do transporte rodoviário com veículos automotivos pesados II: Substituição de 20 % do consumo de diesel B10 pelo consumo de 20 % ao ano de B100.

O plano de mitigação acrescenta a importância do maior consumo de biocombustíveis para redução as emissões de CO_2eq, não obstante o Estado brasileiro obrigatoriamente ter fixado o percentual de 27 % de álcool na gasolina e 10 % de biodiesel no diesel desde o ano de 2018.

Os resultados das emissões de GEE estimadas para proposta de mitigação na indústria gráfica A em relação a substituição de 30 % da gasolina por etanol são apresentadas na Tabela 32.

Tabela 30 Emissões Calculadas a partir do Plano de Mitigação para Cenário de Mitigação I Substuição de 30% da Gasolina por Etanol na Gráfica A.

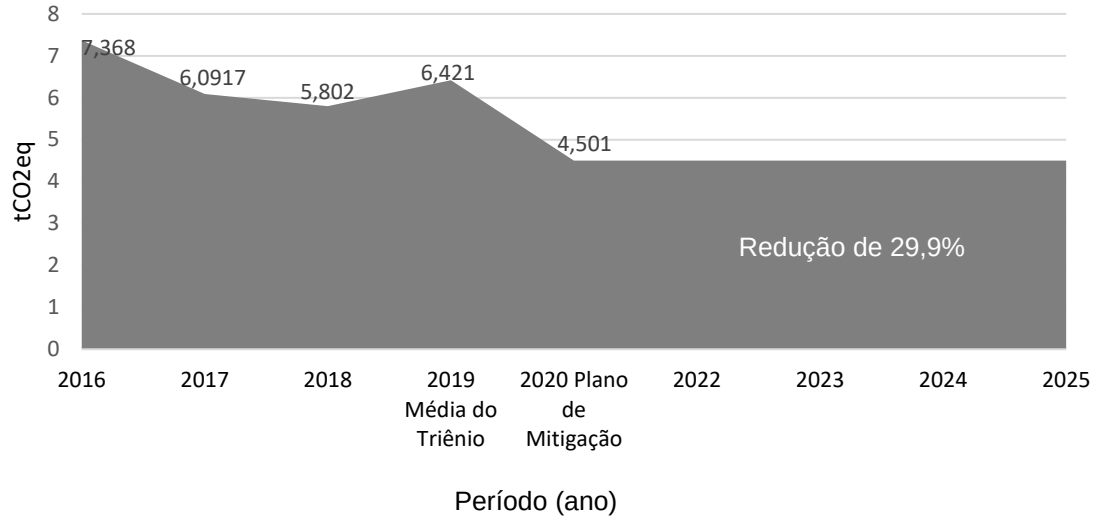
GEE	Cenário Consumo de 30 % Etanol	Cenário Consumo de 70 % Gasolina Comercial	Emissões de GEE a partir do Plano de Mitigação	Emissões de GEE da Média do Triênio (ano base)	Emissões toneladas métricas de GEE evitadas	Percentual Emissões de CO_2eq reduzidas no Escopo (Fonte)
$tCO_{2\ fóssil}$	-	4,286	4,286	6,124	1,838	
tCH_4	0,00057	0,0017	0,0023	0,0025	0,0002	
tN_2O	0,00002	0,0005	0,0005	0,0007	0,0002	
tCO_2eq	0,0198	4,481	4,501	6,421	1,919	- 29,9 %
tCO_2 biogênico	2,155	1,094	3,249	1,203		

Fonte: O autor, 2019.

De acordo com os cálculos através da Ferramenta do *GHG Protocol* da FGV poderão ser evitadas as emissões de 1,9 toneladas de CO_{2eq} para atmosfera a partir das ações propostas pelo plano de mitigação em 2020, isto corresponde a uma redução de 29,9 % das emissões de GEE na fonte emissões de fontes móveis por consumo de gasolina.

A figura 32, apresenta a redução e projeção de metas de reduções para os próximos anos.

Figura 32:Emissões de GEE em toneladas de CO2eq calculadas a partir do Plano de Mitigação para Cenário de Mitigação I Substituição de 30 % da Gasolina por Etanol na Gráfica A.



Fonte: O Autor, 2019.

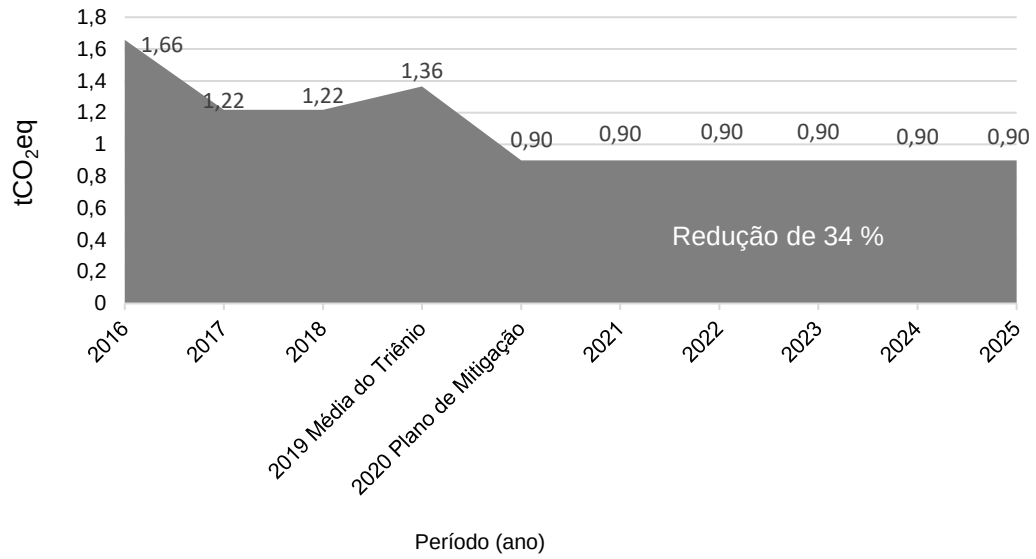
A Tabela 33 apresenta os resultados e a comparação das emissões da média do triênio como a estimativa a partir do Plano de Mitigação na Industria Gráfica B com a substituição de 30% da gasolina por etanol que resultou na redução de 34,1% o correspondente às emissões de 0,465 tCO_2eq. A figura 33 demostra a série histórica das emissões com média do triênio e o plano de mitigação.

Tabela 31: Emissões Calculadas a partir do Plano de Mitigação para Cenário de Mitigação I Substuição de 30 % da Gasolina por Etanol na Gráfica B.

GEE	Cenário Consumo de 30 % Etanol	Cenário Consumo de 70 % Gasolina Comercial	Emissões de GEE a partir do Plano de Mitigação	Emissões de GEE da Média do Triênio (ano base)	Emissões toneladas métricas de GEE evitadas	Percentual Emissões de CO_2eq reduzidas no Escopo (Fonte)
$tCO_{2\ fóssil}$	-	0,857	0,857	1,302	0,445	
tCH_4	0,0001	0,0004	0,0005	0,002	0,003	
tN_2O	0,000004	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	
tCO_2eq	0,004	0,896	0,900	1,365	0,465	34,1 %
tCO_2 biogênico	0,431	0,219	0,650	0,260		

Fonte: O autor, 2019.

Figura 33: Emissões de GEE em toneladas de CO2eq calculadas a partir do Plano de Mitigação para Cenário de Mitigação I Substituição de 30 % da Gasolina por Etanol na Gráfica B.



Fonte: O autor, 2019.

Um fator importante como sabido é sobre o percentual de biodiesel que é adicionado obrigatoriamente no diesel, em 2018 a porção estabelecida pela ANP foi de 10 % e o CNPE publicou a Resolução n° 16 de 29 de outubro de 2018, em que estabeleceu em seu artigo 2º a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, até 2023, conforme o cronograma apresentado na Tabela 32:

Tabela 32: Cronograma Nacional para evolução de percentuais mínimos de adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final.

Datas de início do incremento percentual da adição do volume de biodiesel	**Percentuais mínimos de adição obrigatória de biodiesel.**
A partir de 1º/6/2019 ou no mínimo 3 meses contados da conclusão dos testes e ensaios previstos no art. 1º, adotando-se o prazo que for maior	11 %
1º/3/2020	12 %
1º/3/2021	13 %
1º/3/2022	14 %
1º/3/2023	15 %

Fonte: Brasil, 2018.

Nesse caso, o plano de mitigação propôs o aumento dessa parcela de biodiesel em mais 20 %, podendo ser até 2025, dentro do consumo anual das indústrias para se obter uma redução de emissões de GEE expressiva ao ano.

Na Gráfica A, as estimativas das emissões mediante plano de mitigação, conforme demostra a Tabela 35, apresentou valores de emissões para os gases CO_2, CH_4, N_2O, CO_2 biogênico dos anos anteriores o que evidenciou a redução nas emissões com relação a qualquer um dos 3 anos anteriores e a média do triênio. E com relação à média do triênio a redução foi de 22,1 %, o que corresponde a emissões evitadas de 1,004 tCO_2eq. para atmosfera.

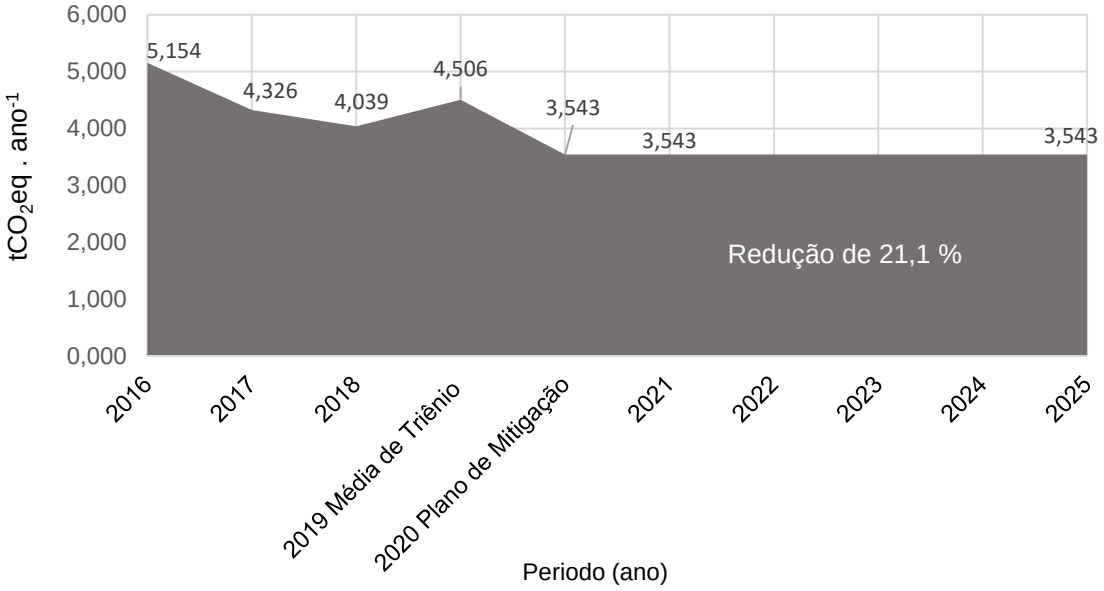
Tabela 33 Emissões em toneladas métricas de GEE considerando os resultados do Plano de Mitigação com base na redução de consumo de Diesel em aumento pela alternativa de Biodiesel. Gráfica A.

GEE	Emissões de GEE a partir do Plano de Mitigação	Emissões de GEE da Média do Triênio (ano base)	Emissões toneladas métricas de GEE evitadas	Percentual Emissões de CO_2eq reduzidas no Escopo (Fonte)
$tCO_{2\ fóssil}$	3,477	4,440	0,963	
tCH_4	0,0004	0,0006	$2,7.\ 10^{-4}$	
tN_2O	0,0002	0,0003	$1,32.\ 10^{-4}$	
tCO_2eq	3,543	4,547	-1,004	-22,1 %
tCO_2 biogênico	4,509	0,364		

Fonte: O autor, 2019.

A figura 20 apresenta a série histórica das emissões de fontes móveis geradas pelo consumo de diesel e biodiesel das emissões do triênio, o ano base, e do período de mitigação.

Figura 34: Cenário de Reduções das Emissões de GEE em tCO2eq na Gráfica A a partir do Plano de Mitigação para o Escopo 1 fonte de combustão móvel no consumo de Diesel e Biodiesel.



Fonte: O autor, 2019.

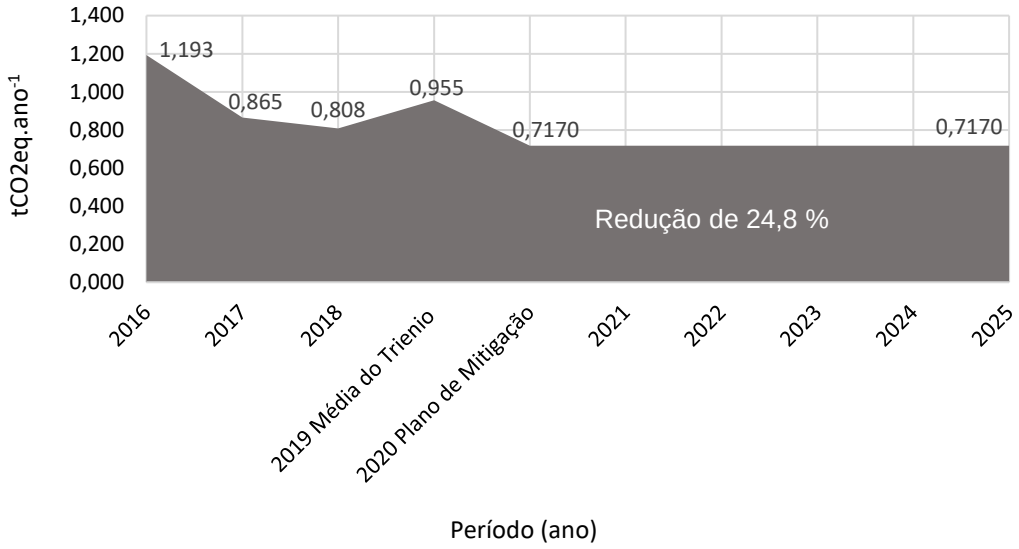
Na Tabela 36 e na figura 34 observou similaridade entre as duas empresas, na gráfica B por sua vez as emissões são menores, mas o plano de mitigação apresentou uma redução de 24,8 % equivalente a 237 kgCO_2 equivalente evitados.

Tabela 34: Emissões em toneladas métricas de GEE considerando os resultados do Plano de Mitigação com base na redução de consumo de Diesel em aumento pela alternativa de Biodiesel. Gráfica B

GEE	**Emissões de GEE a partir do Plano de Mitigação**	**Emissões de GEE da Média do Triênio (ano base)**	**Emissões toneladas métricas de GEE evitadas**	**Percentual Emissões de CO_2eq reduzidas no Escopo (Fonte)**
$tCO_{2\ fóssil}$	0,703	0,9327	0,229	
tCH_4	7,00X10-5	0,0001	0,0001	
tN_2O	4,00X10-5	0,0001	2,89X10-5	
tCO_2eq	**0,717**	**0,9535**	**0,237**	**-24,8 %**
tCO_2 biogênico	0,251	0,0759		

Fonte: O autor, 2019.

Figura 35: Reduções das Emissões diretas de GEE proveniente da fonte de combustão móvel com foco no consumo de Diesel e Biodiesel na Gráfica B, considerando o Plano de Mitigação e o ano base a média do triênio.



Fonte: O autor, 2019.

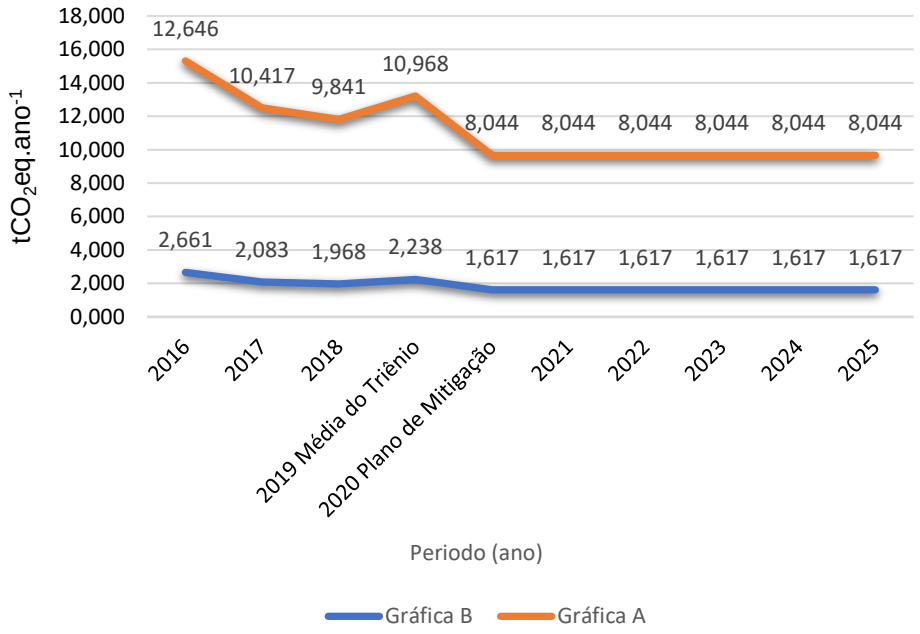
O total das emissões evitadas para atmosfera decorrente dos planos de mitigação para ambos os combustíveis no escopo 1 emissões diretas de fontes movéis foi o seguinte:

- para “Gráfica A” redução de 26,7 % de redução o equivalente a 2,924 tCO_2eq a menos para atmosfera;
- e na “Gráfica B” foi de 27,7 % o equivalente à 621 KgCO2eq.

A figura 21 demostra a consolidação dos dados das fontes moveis nas duas organizações, onde observa-se o perfil das emissões em termos de tCO_2eq ao longo da série histórica e a partir do plano de mitigação. Essa consolidação considerou as emissões totais de fontes de combustões moveis dentro do Escopo 1.[21]

[21] As fontes moveis do escopo 1 conforme consta no capítulo 1 são oriundas do transporte ou entrega de produtos confeccionados pelas empresas gráficas por frota própria e quais está sob a gerência da organização o que possibilita a viabilidade direta do projeto de redução das emissões pela escolha de combustíveis. Gerência essa que não ocorre nas emissões de fontes móveis de Escopo 3 referente ao transporte de resíduos por terceiros.

Figura 36: Série história de 2016 a 2025, das Emissões de GEE totais para fonte combustão móvel escopo 1 e resultados dos planos de mitigação.



Fonte: O autor, 2019.

Os resultados do plano de mitigação pelo víeis das ações de maior consumo de biocombustíveis é viável e favorece a redução das emissões de GEE no planeta.

Segundo, Ogunkunle e Ahmed (2019) vários fatores contribuem para incentivar o uso de biocombustíveis em planos de mitigação de emissões de GEE. Por exemplo a produção mundial de biocombustíveis aumentou em média 11,4 % nos últimos dez anos, cientistas no mundo estão empenhados em aprimorar a qualidade do biodiesel e ampliar o seu consumo em substituição dos combustíveis fosseis, o desenvolvimento da indústria biodiesel e a adaptação dos novos motores automotivos que favorecem uma perspectiva global de que até 2040 o biodiesel corresponderá a 70 % do combustível utilizado no transporte.

O uso de biocombustíveis favorece em curto prazo a mitigação das emissões de GHG oriundas de fontes móveis como caminhões, e foi aplicado com sucesso em países da União Europeia, como Suécia e Holanda (MÅNSSON; SANCHES-PEREIRA; HERMANN, 2014).

3.2.3. Redução das Emissões de CO_2eq. pela opção de eficiência energética

Os resultados dos inventários das emissões de GEE das indústrias gráficas no período de 2016 a 2018 apontam como principal fonte de emissão de GEE o consumo de energia elétrica. O consumo médio do triênio foi de:

- 1.064,067 kWh por ano e correspondeu em emissões indiretas de 83,894tCO_2, para atmosfera ao ano na Gráfica A;
- e 266.784 kWh equivalente a 21,203 tCO_2 na Gráfica B.

O Plano de Mitigação propôs fontes de energia renováveis com fatores de emissões de CO_2 MWh^{-1} menores do que o fator de emissão médio do SIN que apresentou os seguintes valores no triênio:

- 0,0740 $tCO_2 \cdot MWh^{-1}$ (2018);
- 0,0927 $tCO_2 \cdot MWh^{-1}$ (2017);
- e 0,0817 $tCO_2 \cdot MWh^{-1}$ (2016).

Logo, para sucesso do plano de mitigação necessitou-se de uma opção de fonte de energia com fator de emissão menor que 0,0828 $tCO_2 \cdot MWh^{-1}$, a média dos fatores de emissões do triênio aplicada no trabalho como ano base.

Considerando que a matriz elétrica brasileira[22] já possui um baixo fator de emissão em comparação a outras fontes (IPCC,2014), tais como as termoelétricas e que a matriz elétrica brasileira é predominantemente hidroelétrica, buscou-se na literatura casos em que se optou pela alternativa da energia fotovoltaica e do seus fatores de emissões de GEE com base no ACV.

Segundo, Medina Filho et. al (2017) em estudo realizado no Estado Minas Gerais, observou o inventário das emissões do escopo 2 referente as emissões pelo consumo de energia elétrica por atividades agrícolas da região da Zona da Mata,

[22] Segundo dados da ONS (2018) o Sistema Nacional Interligado (SIN) é predominantemente composto por energia hidrelétrica. Por exemplo, é composto por 67,6% da energia hidroelétrica; 8,9% da eólica; 8,3% da Biomassa; 2,9% do petróleo; 7,9% do Termo gasoso; 1,1% da Energia Solar; e 1,2% do Nuclear.

evidenciaram que as emissões de GEE do Escopo 2 dentro de um cenário optando pela energia fotovoltaica reduziu as emissões de CO_2eq em 57,16 % em comparação à matriz hidrelétrica, devido ao fator de emissão da energia solar ser de 0,020 a 0,050 $kgCO_2eq \cdot KWh^{-1}$, enquanto a média do fator do SIN foi de 0,0817 tCO_2eq . KWh^{-1}.

A referência supracitada destaca que essas medidas para mitigação das emissões de GEE pelo consumo de energia já estão em aplicação no Brasil, onde possui condições da irradiação solar favoráveis ao uso dessa energia.

Wu *et al*. (2017) realizaram uma pesquisa bibliográfica e evidenciaram que na Ásia e no Sul da Europa foram investigados fatores de emissões para sistemas fotovoltaicos considerando a ACV do sistema, que é desde a fabricação dos painéis ao balanço do sistema (equipamentos de instalação e a operação) esses resultados estão descritos na Tabela 37.

Tabela 35 Resultados da revisão das emissões de GEE em sistemas fotovoltaicos de poli -Si.

Localização	**Tempo de Vida (anos)**	**Irradiação (kWh m^2 ano^{-1})**	**Fator de Emissão $kgCO_2eq$ kWh^{-1}**
Japão	20	1427	0,020
Sul-Europa I	30	1700	0,060
Gobi deserto de China	30	1675	0,012
Sul-Europa II	30	1700	0,032
China	30	1702	0,043

Fonte: Adaptado WU *et al*., 2017.

No presente estudo de caso para quantificação das emissões de GEE provenientes do uso da energia fotovoltaica considerou-se como escolha do fator de emissão de CO_2, a taxa de irradiação solar mais próxima à do Rio de Janeiro que é de 1.762,95 KWh ano^{-1}, essa calculada pela Ferramenta *SunData* versão 3.0 da CEPEL, logo foi usada a média dos fatores da Tabela 37, cuja irradiação local foi de

1700 KWh ano^{-1} e 1702 KWh ano^{-1}, sendo a média obtida dos fatores de emissão: 0,045 kgCO2eq kWh^{-1}.

A Tabela 38 apresenta o resultado da estimativa para emissão de GEE a partir do plano de mitigação optando pelo sistema fotovoltaico para as Gráficas A e B.

Tabela 36: Resultados e Quadro comparativo para emissões de GEE a partir do plano de mitigação com o uso da energia fotovoltaica em substituição da eletricidade do SIN.

Estudo de Caso	**Emissões em tCO_2eq estimadas para o uso da energia fotovoltaica para Plano de Mitigação**	**Emissões em tCO_2eq de GEE média do triênio (ano base)**	**Percentual de Emissões de GEE evitadas**
Gráfica A	47,883	83,894	-42,9 %
Gráfica B	12,005	21,203	-43,5 %

Fonte: O autor, 2019.

A proposta da instalação do sistema fotovoltaico previu a aquisição de placas de poli-Si, sendo 2.640 placas de 330 Watts na Gráfica A e 720 placas na Gráfica B, considerando que o resultado da redução das emissões indiretas pelo consumo de energia é imediato.

Na realidade para segurança de suprir a demanda deve-se levar em conta que no ano de 2016 houve um maior consumo. Recomenda-se que o sistema instalado seja suficiente para cobrir uma futura necessidade de aumento de consumo.

3.2.4. Redução total das emissões de CO_2 equivalente mediante o cenário do Plano de Mitigação das emissões GEE.

A partir do Plano de Mitigação das Emissões de GEE das fontes avaliadas foi possível estabelecer uma redução significativa contabilizando as contribuições de cada escopo. Essas estimativas apresentaram-se eficaz à proposta o que pode ser verificado nos resultados apresentados na Tabela 39.

Tabela 37: Resultado do percentual de emissões evitadas mediante o plano de mitigação na indústria Gráfica A

Escopo	**Fonte**	**Contribuição das emissões no inventario geral** **Média do triênio**	**Redução no Inventario geral das emissões**	**Emissões em Toneladas de CO_2 equivalente evitadas para atmosfera** **($tCO_2eq.$)**
Escopo 1	**Moveis**	6,1 %	-1,6 %	-2,924
Escopo 2	**Energia**	46,6 %	-20,0 %	-36,001
Escopo 3	**Tratamento de Resíduos Classe IIA**	32,6 %	-28,6 %	-51,564
Total todas a fontes.	**Escopo 1, 2 e 3**	85,3 %	-50,3 %	-90,489

Fonte: O autor, 2019.

O resultado do plano de Mitigação para indústria A apresentou uma estimativa de redução das emissões de GEE de 90,489 tCO_2eq, correspondente a 50,3 %, para o primeiro ano do plano, comparada com as emissões totais do ano base (média do triênio) que foi de 179,984 tCO_2eq. ou seja, uma redução ainda superior a proposta da meta nacional junto a COP21 de 37 % até 2025 e de 43 % até 2030 com o ano base de 2005.

A Tabela 40 apresenta o resultado para o plano de mitigação na indústria gráfica B, obtendo uma estimativa de redução das emissões em - 49,5 %, o equivalente a menos 28,045 tCO_2eq ao ano para atmosfera.

Tabela 38: Resultado do percentual de Emissões Evitadas mediante o plano de mitigação na indústria Gráfica B

Escopo	**Fonte**	**Contribuição das emissões no inventario geral** **Média do triênio**	**Redução no Inventario geral das emissões**	**Emissões em Toneladas de CO_2 equivalente evitadas para atmosfera** **($tCO_2eq.$)**
Escopo 1	**Moveis**	**3,8 %**	**- 1,2 %**	**- 0,702**
Escopo 2	**Energia**	**37,7 %**	**- 16,2 %**	**- 9,198**
Escopo 3	**Tratamento de Resíduos Classe IIA**	**36,5 %**	**- 32,0 %**	**- 18,145**
Total	**Moveis, energia e resíduos**	**78,0 %**	**- 4 9,5 %**	**- 28,045**

Fonte: O autor, 2019.

Considerando que não existe um parâmetro legal e técnico para metas de redução das emissões de GEE nas indústrias no Brasil, haja vista que o Plano de Mitigação é voluntario, pode ser adotada a referência da meta de redução nacional para 2030 com base na NDC.

Nesse caso o trabalho propôs duas formas de atendimento dessas metas:

- Intensiva em 2020 já com implantação total das substituições e melhorias a partir das escolhas das fontes de emissões de GEE.
- Gradativa a partir de 2020 distribuindo de forma parcelada em 10 anos as metas por fonte para contribuir com a meta nacional de 2030 de 43 %.

Face ao exposto, até 2030, em 10 anos, as Gráficas A e B tem potencial para evitar juntas as emissões de 1.184,53 tCO_{2eq} para atmosfera.

CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E ESTUDOS FUTUROS.

Conclusões.

O estudo conseguiu propor por meio dos inventários de GEE nos períodos de 2016, 2017, 2018 a aplicação de modelos estratégicos para fins de mitigação das emissões de GEE na indústria gráfica, de modo contribuir na redução da intensificação das emissões de GEE na atmosfera.

A relevância da mitigação das emissões de GEE considerou que o setor participa em toda cadeia de comércio por meio da produção de artigos de publicidade e embalagens pelo mundo.

A revisão literária permitiu contextualizar e demostrar a importância para aplicação de planos de mitigação de GEE contra o aquecimento global e o caminho das novas tendências de produção, com viés de baixo carbono incluindo atividades de menor porte, mas inúmeras globalmente.

O trabalho com as duas empresas gráficas serviu de modelo viável de que é possível a contabilização de inventários de GEE e que todas empresas independente do porte ou ramo podem contribuir para um cenário de mitigação das emissões de GEE na atmosfera e obter benefícios, econômicos, ambientais e de imagem comercial.

As emissões nos escopos 1, 2 e 3 se concentraram nos gases CO_2, CH_4, N_2O e HFC. Sendo as maiores emissões de CO_2, pelo consumo de energia e CH_4 pela disposição final de resíduos em aterros sanitários. O que permitiu definir um perfil de emissões de GEE para o setor gráfico.

Em ambas as indústrias gráficas inventariadas, o Escopo 2, consumo de energia, foi a categoria de fonte de emissões com maior emissão de CO_2eq., seguido do tratamento de resíduos por terceiros no Escopo 3. Enquanto das emissões evitadas a participação das fontes se inverteu, sendo o Escopo 3 em tratamento de resíduos fonte com maior resultado de reduções de CO_2eq. seguida do Escopo 2.

Verificou-se que a substituição do tratamento de resíduos em aterros pela compostagem e reciclagem é numericamente vantajosa em termos de tCO_2eq. Os aterros sanitários são grandes emissores de gás CH_4. No plano de mitigação nas duas gráficas foi demostrada uma significativa oportunidade de redução dessas emissões de CH_4. O resultado da contabilização de - 69,709 $tCO_2eq.\ ano^{-1}$ emissões evitadas para atmosfera, a partir de uma gestão com foco em reciclagem e compostagem de resíduos foi significativo.

No cenário de energia foi observado também um potencial no qual é aproveitado a radiação solar que favorece a aplicação de energia fotovoltaica com menores fatores de emissões de GEE do que o sistema SIN.

As fontes móveis têm um potencial significativo de mitigação com a adoção pelo aumento no consumo de biocombustíveis substituindo combustíveis fosseis e assim evitando emissões de CH_4 para atmosfera.

Segundo o Plano de Mitigação proposto as duas empresas juntas evitariam para atmosfera 1.184,53 tCO_{2eq} para atmosfera num prazo de 10 anos.

A Ferramenta de Cálculo do Programa Brasileiro *GHG Protocol* viabiliza o engajamento das organizações privadas e estatais aos objetivos das políticas internacionais de mitigação das emissões de GEE. Diminui a distância entre os acordos internacionais da UNFCCCC e as organizações industriais e a sociedade com referência à participação na busca de soluções contra o aquecimento global, mediante planos de mitigação para redução das emissões antropogênicas de GEE.

A realização dos inventários das empresas favorece os países quanto a tomada de decisões, com base em dados empíricos e reais das emissões e com a vantagem de aplicar uma metodologia reconhecida e padronizada, compatível com as diretrizes da IPCC *Guide* 2006 e da ABNT NBR ISO14064-1:2007.

Os três modelos de mitigação focados nos Escopo 1 e 2, resíduos, fontes móveis, e energia projetados para empresas, no estudo de caso, são viáveis e promissores e podem ser aplicados em outras atividades industriais, em curto prazo. Esse modelo de mitigação e os resultados alcançados pode ser também aplicado em boas práticas reportadas em Relatórios de Sustentabilidade do GRI.

O estudo observou que a Ferramenta do *GHG Protocol* e o Plano de Mitigação proposto ajudará as empresas se prepararem para um futuro de mercado mais restritivo em termos de carbono, onde o conceito de pegada de carbono será um fator taxativo nas negociações comerciais, por uma forma de auto regulação dos setores industriais.

O Programa Brasileiro *GHG Protocol* já foi aderido voluntariamente por diversas empresas em todos os estados, esse é um exemplo de auto regulação haja vista que apenas o estado do Rio de Janeiro obriga apresentação dos inventários de GEE ao órgão ambiental local.

Observou-se que o Plano de Mitigação baseado na escolha dos tipos de tratamento de resíduos, consumo de energia elétrica e combustíveis automotivos como atores de emissões menores possibilita em curto prazo a mitigação dessas emissões.

Limitações e Perspectivas Futuras

Apesar de todos os inventários de GEE sejam padronizados por metodologia reconhecida, ainda existem fontes de emissões cujos fatores de emissões não foram especificamente definidos e nesse caso por orientação do próprio IPCC e do *GHG Protocol* se faz necessário a aplicação de fatores *default* do IPCC *Guide* 2006.

Ao fazer o recorte para o cenário brasileiro, a pesquisa constatou na literatura pouca divulgação de trabalhos diretamente relacionados a construção de fatores de emissões para fornos de incineração de resíduos industriais. As indústrias gráficas possuem uma significativa geração de resíduos classe I que são tratados por *blend* e incineração, no presente trabalho o inventario limitou-se na aplicação de fatores *default* para essa fonte nos cálculos das suas emissões. Assim a pesquisa por fatores de emissões para N_2O, CH_4 e CO_2 nacionais considerando as especificidades das fontes é de grande importância, mas para isso as empresas devem desenvolver seus inventários de GEE para somar informações de base no Programa Brasileiro *GHG Protocol*.

Um cenário global no futuro sobre restrição comercial de emissões de CO_2 na produção e na aquisição de serviços mais eticamente sustentáveis e de menor impacto ambiental irá exigir o apoio científico de novos trabalhos sobre boas práticas de gestão ambiental voltada aos objetivos da redução das emissões de GEE na atmosfera.

As estimativas das emissões de GEE nas organizações são indicadores valiosos para efeitos ambientais e econômicos. Contudo para isso é necessário além das informações ambientais de consumo e dados de produção, desde a compra de matérias primas, considerando toda cadeia produtiva e realizando as contabilizações das emissões da produção pelo víeis da ACV.

Existe limitações para realização de estudos com abordagem mais ampla do Escopo 3 que necessita de informações dos estágios de ACV, *gate-to-grave* e *cradle-to-gate*. Exige a contabilização maior das emissões do Escopo 3 pela aquisição de matérias primas e insumos e isso dependerá dos inventários dos fornecedores. Futuros trabalhos podem calcular a intensidade de carbono por produtos produzidos e considerar o ACV na produção, desde que se tenha informações e dados de GEE além da operação.

Recomenda-se também mensurar os custos comparativos das ações de mitigação e avaliar viabilidade financeira favorecendo aplicação desse modelo em outras empresas.

Finalizando espera-se que esse trabalho contribua para novas pesquisas sobre planos de mitigações das emissões de GEE na atmosfera, ajudando a todos no engajamento da “agenda climática” e no combate ao aquecimento global.

REFERÊNCIAS

ABREU, Mônica Cavalcanti Sá de; ALBUQUERQUE, Aline Mota; FREITAS, Ana Rita Pinheiro de. **Uso do Greenhouse Gas Protocol para mensurar emissões de gases do efeito estufa e desenvolver projetos de mitigação**. Revista PRETEXTO, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 11–30, 2015. DOI: 10.21714/pretexto.v16i2.1190. Disponível em: http:www.fumec.br/revistas/pretexto/article/view/1190. Acesso em: 18 mar. 2020.

ABIGRAF. ABIGRAF NACIONAL. **Relatório de Atividades**. São Paulo. 2019. Disponível em :< http://abigraf.org.br/documents> Acesso em: 27 dez.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, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 197–205, 2016. DOI: 10.1590/S1413-41520201600100116414.

AMUAKWA-MENSAH, Franklin; MARBUAH, George; MUBANGA, Mwenya. **Climate variability and infectious diseases nexus: Evidence from Sweden. Infectious Disease Modelling**, [s.l.], v. 2, n. 2, p.203-217, maio 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.idm.2017.03.003. Disponível em:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468042716300215>. Acesso em: 23 jun. 2019.

ANDERSON, Thomas R.; HAWKINS, Ed; JONES, Philip D. **CO2, the greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of Arrhenius and Callendar to today's Earth System Models**. Endeavour, [S. l.], v. 40, n. 3, p. 178–187, 2016. DOI: 10.1016/j.endeavour.2016.07.002.Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160932716300308>. Acesso em: 16 out. 2018.

ARRHENIUS, Svante. **On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground.** Philosophical Magazine and Journal of Science, [S.I.], v. 41, n. 5, p.237-276, abr. 1896. Disponível em: <http://www.rsc.org/images/Arrhenius1896_tcm18-173546.pdf>. Acesso em: 16 out. 2018.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR ISO 14064-1:2007**: – **Especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa**.1 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007. 20 p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR ISO 14064-2:2007. Gases de efeito estufa Parte 2: Especificação e orientação a projetos para quantificação, monitoramento e elaboração de relatórios das reduções de emissões ou da melhoria das remoções de gases de efeito estufa**. 1 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007. 28 p

AWASTHI, Sanjeev Kumar et al. **Changes in global trends in food waste composting: Research challenges and opportunities.** Bioresource Technology, [s.l.], p.1-53, dez. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122555. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852419317857#f0020>. Acesso em: 18 dez. 2019.

AZEVEDO-RAMOS, Claudia; MOUTINHO, Paulo. **No man's land in the Brazilian Amazon: Could undesignated public forests slow Amazon deforestation?** Land Use Policy, [s.l.], v. 73, p.125-127, abr. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.01.005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837717314527>. Acesso em: 13 abr. 2019.

BAIRD, Colin; CANN, Michael**. O efeito estufa: Emissões de energia pela Terra e o efeito estufa.** In: BAIRD, Colin; CANN, Michael. Química Ambiental**.** 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. Cap. 6. p. 231-233.

BARBERA, Antonio C.; VYMAZAL, Jan; MAUCIERI, Carmelo. **Greenhouse Gases Formation and Emission.** Encyclopedia of Ecology, [s.l.], p.329-333, 2019. Elsevier. http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.10895-4. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124095489108954>. Acesso em: 18 abr. 2019.

BARRY, ROGER G.; CHORLEY, RICHARD J. **Atmosfera, Tempo E Clima.** BOOKMAN. 9ª edição, 2012. 528 p.

BERGA, Luis. **The Role of Hydropower in Climate Change Mitigation and Adaptation**: A Review Engineering, [s.l.], v. 2, n. 3, p.313-318, set. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.eng.2016.03.004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209580991631164X>. Acesso em: 23 abr. 2019.

BEZERRA, Marcelo Hugo de Medeiros; SANQUETTA, Carlos Roberto; CORTE, Ana Paula dalla; RUZA, Marieli Sabrina; CARVALHO, Marília do Carmo Dolci de. **A implementação da iNDC brasileira à luz do acordo de paris e seus desafios.** Holos Environment, [s.l.], v. 19, n. 1, p.42-51, 1 abr. 2019. Lepidus Tecnologia. http://dx.doi.org/10.14295/holos.v19i1.12293. Disponível em: https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/12293. Acesso em: 04 jan. 2020

BINDOFF, Nathaniel L. et al. **IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate:** Changing Ocean, Marine Ecosystems, and Dependent Communities. 5.2.2 Changes in Physical and Biogeochemical Properties. Genebra: IPCC, 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-5/>. Acesso em: 09 jan. 2020.

BORBA, Priscila Falcão de Sá et al. **Emissão de gases do efeito estufa de um aterro sanitário no Rio de Janeiro**. Engenharia Sanitária e Ambiental, [s.l.], v. 23, n. 1, p.101-111, fev. 2018. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018167438. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522018000100101>. Acesso em: 18 ago. 2019.

BRASIL. **Lei n°12.305, 2 de agosto de 2010**. Institui a política nacional de resíduos sólidos; altera a lei n°9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 2010 Disponível:<https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html>. Acesso em: 05 fev. 2019.

_____, Ministério da Ciência Tecnologia Inovações e Comunicações. **Fator médio - Inventários corporativos: Fatores de Emissão de CO_2 para utilizações que necessitam do fator médio de emissão do Sistema Interligado Nacional do Brasil, como, por exemplo, inventários corporativos**.2018. Disponível:<https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html>. Acesso em: 05 fev. 2019.

_____. Constituição (2009). **Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2012. Institui A Política Nacional Sobre Mudança do Clima – PNMC e dá Outras Providências.** Brasília, DF, 30 dez. 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm>. Acesso em: 25 nov. 2017.

_____. Decreto nº 6.263, de 21 de novembro de 2007. **Institui o Comitê Interministerial Sobre Mudança do Clima, Orienta A Elaboração do Plano Nacional Sobre Mudança do Clima, e Dá Outras Providências.** Brasília, DF, 21 dez. 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Decreto/D6263.htm>. Acesso em: 01 dez. 2018.

_____. 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.** Brasília, DF, Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato20152018/2017/Decreto/D9172.htm>. Acesso em: 01 fev. 2018.

_____ Lei nº 13.263, de 23 de março de 2016. **Altera a Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, para dispor sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional**. Brasília, DF. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2016/lei-13263-23-marco-2016-782625-norma-pl.html>. Acesso em: 25 out. 2019.

_____. Resolução nº 16, de 16 de outubro de 2018. **Dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional. Conselho Nacional de Política Energética: RESOLUÇÃO Nº 16, DE 29 DE OUTUBRO DE 2018**. Brasil: Diário Oficial da União, 08 nov. 2018. Seção 215. Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=08/11/2018&jornal=515&pagina=2&totalArquivos=181>. Acesso em: 25 out. 2019.

_____. **Ministério de Minas Energia. Brasil lança Programa de Geração Distribuída com destaque para energia solar**. 2017. Disponivel em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticas/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030>. Acesso em 20 agosto 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCCC)**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas> Acesso em 17 jun. 2018.

_____. Resolução nº 16, de 29 de outubro de 2018. **Dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional**. Brasília, DF. Conselho Nacional de Política Energética: RESOLUÇÃO Nº 16, DE 29 DE OUTUBRO DE 2018. Brasil: Diário Oficial da União, 08 nov. 2018. Seção 215. Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=08/11/2018&jornal=515&pagina=2&totalArquivos=181>. Acesso em: 25 out. 2019.

BRISMAN, Avi; SOUTH, Nigel; WALTERS, Reece. **Climate Apartheid and Environmental Refugees.** The Palgrave Handbook of Criminology and The Global South, [s.l.], p.301-321, 2018. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-65021-0_16. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-65021-0_16>. Acesso em: 24 jun. 2019.

BSI PAS:2050, 2011. **How to carbon footprint your products, identify hotspots and reduce emissions in your supply chain.** BSI copyright, 2011. Disponível em www.bsi-global.com/PAS2050, Acessado em 18 de Março de 2013.

CETESB. Constituição (2012). **Decisão de Diretoria nº 254, de 28 de agosto de 2012. Dispõe Sobre Os Critérios Para an Elaboração do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Estado de São Paulo e Dá Outras Providências.** São Paulo, SP, Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/inventario-gee-empreendimentos/decisao-de-diretoria/decisao-de-diretoria-no-2542012vi-de-22-8-2012/>. Acesso em: 25 nov. 2018.

_____, SINDIGRAF. **Guia técnico ambiental da indústria gráfica** [recurso eletrônico] / Elaboração Daniele de O. Barbosa... 2.ed. [et al.]. – 2.ed. – São Paulo. 2009. Disponível em:< https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wp-content/uploads/sites/20/2013/11/guia_ambiental2.pdf> Acesso em 25 novembro 2018.

DE ABREU, Mônica Cavalcanti Sá; ALBUQUERQUE, Aline Mota; DE FREITAS, Ana Rita Pinheiro. **Uso Do Greenhouse Gás Protocol Para Mensurar Emissões De Gases Do Efeito Estufa E Desenvolver Projetos De Mitigação**. Revista Pretexto, v. 16, n. 2, p. 11-30, 2015. Disponível em:<http://dx.doi.org/10.21714/pretexto.v16i2.1190>. Acesso: 18 abr. 2018.

DUNNE, Jennifer A.; JACKSON, Stacy C.; HARTE, John. **Greenhouse Effect. Encyclopedia of Biodiversity**, [s.l.], p.18-32, 2013. Elsevier. http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-384719-5.00068-x. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012384719500068X>. Acesso em: 18 abr. 2019.

EBI, Kristie L.; NEALON, Joshua. **Dengue in a changing climate**. Environmental Research, [s.l.], v. 151, p.115-123, nov. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2016.07.026. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935116303127>. Acesso em: 23 jun. 2019.

EDWARDS, Paul N. **History of climate modeling**. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, [s.l.], v. 2, n. 1, p.128-139, 23 dez. 2010. Wiley. http://dx.doi.org/10.1002/wcc.95. Disponível em: <https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/79438/95_ftp.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 04 abr. 2018.

FEARNSIDE, P. M. **Hidrelétricas como "fábricas de metano": O papel dos reservatórios em áreas de floresta tropical na emissão de gases de efeito estufa**. O Ecologia Brasiliensis, v. 12, p. 100–115, 2008.Disponível em: < https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2880900>. Acesso em 30 dez.2018.

FEARNSIDE, Philip M. **Emissions from tropical hydropower and the IPCC**. **Environmental Science & Policy**, [s.l.], v. 50, p.225-239, jun. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2015.03.002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901115000519>. Acesso em: 30 dez. 2018.

FERREIRA, Simone Pereira; ALVES, Rita de Cássia Marques; GONÇALVES, Flavio Varone. **Estimativa de emissão de metano na formação do reservatório da hidrelétrica Serra do Facão / Estimate of methane emission from the filling of hydroelectric dam of Serra do Facão in the State of Goiás - Brazil**. Caderno de Geografia, [s.l.], v. 27, n. 48, p.1-26, 16 jan. 2017. http://dx.doi.org/10.5752/p.2318-2962.2017v27n48p1. Disponível em: <http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/P.2318-2962.2017v27n48p1>. Acesso em: 13 dez. 2018.

FIRJAN, Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro; SIGRAF, Sindicato das Indústrias Gráficas do Município do Rio de Janeiro. **Relatório anual 2018.** 2018. Disponível em: <http://sigraf.org.br/wp-content/uploads/2019/04/2019.04.18-FIRJAN-Relatorio-SIGRAF_FINAL-02-1.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2019.

FGV. **Registro Público de Emissões: Programa Brasileiro GHG Protocol.** 2018. (2019) Registro Público de Emissões - uma iniciativa do Centro de Estudos em Sustentabilidade (GVces) da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas (FGV EAESP). Disponível em: <http://www.registropublicodeemissoes.com.br/participantes>. Acesso em: 25 fev. 2019.

FGV. Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas (GVces). **Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol – Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. 2010. Disponível em: < https://s3-saeast1.amazonaws.com/arquivos.gvces.com.br/arquivos_ghg/152/especificacoes_pb_ghgprotocol.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2019.

FINLAYSON-PITTS, B.J, PITTS, J. N. Jr. **Chemistry of the upper and lower Atmosphere: Theory, Experiments and Applications**. Flórida: Academic Press, 2000. pg.45.

FLEMING, James R. **Joseph Fourier, the 'greenhouse effect', and the quest for a universal theory of terrestrial temperatures**. Endeavour, [s.l.], v. 23, n. 2, p.72-75, jan. 1999. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/s0160-9327(99)01210-7. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160932799012107>. Acesso em: 04 jun. 2018.

FORSTER, Piers M. **Inference of Climate Sensitivity from Analysis of Earth's Energy Budget.** Annual Review of Earth and Planetary Sciences, [s.l.], v. 44, n. 1, p.85-106, 29 jun. 2016. Annual Reviews. http://dx.doi.org/10.1146/annurev-earth-060614-105156. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/full/10.1146/annurev-earth-060614-105156#_i3>. Acesso em: 23 abr. 2019.

FURTADO, Mario Tosi. **Modelo adiabático da atmosfera terrestre compatível com o aquecimento global e o efeito estufa.** Revista Brasileira de Ensino de Física**,** [s.l.], v. 34, n. 3, p.1-13, set. 2012. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1806-11172012000300010. Disponível em:< http://www.scielo.br/pdf/rbef/v34n3/a10v34n3.pdf >Acesso em:20 abr.2018.

GEKA, Diretoria da Gráfica. **Consumo e Compra anual de Energia Elétrica - Light - anos 2016, 2017 e 2018. Gráficas: GEKA I (Matriz), GEKA II (Filial), Isolinier. Planilhas.Digitalizada.pdf.** [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <rafascald@gmail.com>. em: 29 out. 2018.

GHG BRASIL. Nota Técnica. **Diretrizes para a contabilização de emissões de Escopo 2 em inventários organizacionais de gases de efeito estufa no âmbito do Programa Brasileiro GHG Protocol. Versão 4.0.** Disponivel em:<http://mediadrawer.gvces.com.br/ghg/original/ghg-protocol_nota-tecnica_contabilizacao-de-escopo-2_v4.pdf> Acesso em 28 jun. 2018.

GHG BRASIL. **Programa Brasileiro GHG Protocol**. Disponível em: <http://ghgprotocolbrasil.com.br/o-programa-brasileiro-ghg-protocol?locale=pt-br> Acesso em 17 jun. 2017.

GLENN, E.p.; MATTHIAS, A.d. **Global Change: Global Warming and The Greenhouse Efect**. In: PEPPER, Ian L.; GERBA, Charles P.; BRUSSEAU, Marck (Ed.). **Ennvironmental and Pollution Science.** 2. ed. Oxford: Elsevier, 2006. Cap. 24. p. 395-402.

GODOY, Sara Gurfinkel Marques de. **Projetos de redução de emissões de gases estufa: desempenho e custos de transação**. Revista de Administração, [s.l.], p.310-326, 2013. Business Department, School of Economics, Business & Accounting USP. http://dx.doi.org/10.5700/rausp1090. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0080210716304393>. Acesso em: 23 jun. 2018.

GRI, Global Report Initiative -. **GRI STANDARDS 302 ENERGY**. 2016. Disponível em: <https://www.globalreporting.org/standards>. Acesso em: 04 fev. 2019.

_____-. **GRI STANDARDS 305 EMISSIONS**. 2016. Disponível em: <https://www.globalreporting.org/standards>. Acesso em: 04 fev. 2019.

_____. **GRI'S HISTORY**. Disponível em: <https://www.globalreporting.org/information/about-gri/Pages/default.aspx>. Acesso em: 04 fev. 2018.

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. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617313537?via%3Dihub>. Acesso em: 09 dez. 2019.

HWANG, Kum-lok et al. **Emission of greenhouse gases from waste incineration in Korea.** Journal of Environmental Management, [s.l.], v. 196, p.710-718, jul. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.071. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717302864>. Acesso em: 18 ago. 2019.

IBGE. **Pesquisa Industrial Mensal - Produção Física - PIM-PF | IBGE**. 2019. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9294-pesquisa-industrial-mensal-producao-fisica-brasil.html?=&t=o-que-e. Acesso em: 15 abr. 2020.

INEA (Estado). Constituição (2012). Resolução 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. 2012. p. 1-4. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwff/mda2/~edisp/inea_006665.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2018.

IPCC. **AR4 Climate Change 2007: The Physical Science Basis.** 2007. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/>. Acesso em: 28 jul. 2018.

IPCC. **The Physical Science Basis. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre as Alterações Climáticas.** Climate Change 2013. [Stocker, TF, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, SK Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex e PM Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova Iorque, NY, EUA, 1535 pp.

IPCC. **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1435p. 2014.

IPCC. **Special Report on global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathwaysSpecial Report, Intergovernmental Panel on Climate Change**. 2018. [s.l: s.n.]. Disponível em: https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/chapter-3/. Acesso em: 18 mar. 2020.

IPCC. **Revised 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Reporting Instructions**. 2006. [s.l: s.n.]. Disponível em < http://www.ipcc.ch/>. Acesso em 28 jul.2019.

JIAN-BIN, Huang et al. **The Science of Global Warming**. Advances in Climate Change Research, [s.l.], v. 3, n. 3, p.174-178, set. 2012. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.3724/sp.j.1248.2012.00174. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674927812500377>. Acesso em: 23 abr. 2019.

KEELING, Charles D. et al. **Atmospheric carbon dioxide variations at Mauna Loa Observatory, Hawaii**. Tellus, [s.l.], v. 28, n. 6, p.538-551, jan. 1976. Informa UK Limited. http://dx.doi.org/10.3402/tellusa.v28i6.11322. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3402/tellusa.v28i6.11322>. Acesso em: 01 ago. 2018.

KEOHANE, Robert O.; OPPENHEIMER, **Michael. Paris: Beyond the Climate Dead End through Pledge and Review?** Politics And Governance, Lisboa, v. 4, n. 3, p.142-151, 08 set. 2016. Disponível em: <https://www.cogitatiopress.com/politicsandgovernance/article/view/634>. Acesso em: 18 dez. 2019.

KHAN, Aftab Alam. **Why would sea-level rise for global warming and polar ice-melt?** Geoscience Frontiers, [s.l.], v. 10, n. 2, p.481-494, mar. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.gsf.2018.01.008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674987118300446?via%3Dihub>. Acesso em: 23 abr. 2019.

KHASNIS, Atul A.; NETTLEMAN, Mary D**. Global Warming and Infectious Disease.** Archives of Medical Research, [s.l.], v. 36, n. 6, p.689-696, nov. 2005. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.arcmed.2005.03.041. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.319.1843&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 21 dez. 2018.

KING, Andrew D.; HARRINGTON, Luke J. **The Inequality of Climate Change From 1.5 to 2 °C of Global Warming.** Geophysical Research Letters, [s.l.], v. 45, n. 10, p.5030-5033, 28 maio 2018. American Geophysical Union (AGU). http://dx.doi.org/10.1029/2018gl078430. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2018GL078430>. Acesso em: 23 jun. 2019.

KUH, K.f. **The Law of Climate Change Mitigation: An Overview**. Encyclopedia of The Anthropocene, [s.l.], p.505-510, 2018. Elsevier. http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-809665-9.10027-8. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128096659100278>. Acesso em: 13 abr. 2019.

KURANE, Ichiro. **The Effect of Global Warming on Infectious Diseases. Osong Public Health and Research Perspectives**, [s.l.], v. 1, n. 1, p.4-9, dez. 2010. E-Tree Publishing. http://dx.doi.org/10.1016/j.phrp.2010.12.004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210909910000056?via%3Dihub>. Acesso em: 23 jun. 2019.

LENZI, E.; FAVERO, L. O. B. **Introdução à Química Atmosférica**. São Paulo: LTC, 2009. pg 15-20; pg 129-145; pg 153-177.

LEVY, Barry S.; PATZ, Jonathan A. **Climate Change, Human Rights, and Social Justice.** Annals of Global Health, [s.l.], v. 81, n. 3, p.310-322, 27 nov. 2015. Ubiquity Press, Ltd. http://dx.doi.org/10.1016/j.aogh.2015.08.008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214999615012242>. Acesso em: 30 jun. 2019.

LEWIS, Nicholas; CURRY, Judith. **The Impact of Recent Forcing and Ocean Heat Uptake Data on Estimates of Climate Sensitivity**. **Journal of Climate**, [s.l.], v. 31, n. 15, p.6051-6071, ago. 2018. American Meteorological Society. http://dx.doi.org/10.1175/jcli-d-17-0667.1. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/doi/suppl/10.1175/JCLI-D-17-0667.1>. Acesso em: 17 abr. 2019.

LOPES, Carlos Alberto. **A fitopatologia nos cenários de aquecimento global**. In: BETTIOL, Wagner et al. Aquecimento Global e Problemas Fitossanitários. Brasília: Embrapa Meio Ambiente, 2017. Cap. 4. p. 68-84. Disponível em: <https://www.embrapa.br/meio-ambiente/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1077623/aquecimento-global-e-problemas-fitossanitarios>. Acesso em: 25 jun. 2019

LOVATO, Marcos Luiz. **GREENWASHING NO BRASIL: quando a sustentabilidade ambiental se resume a um rótulo**. Revista Eletrônica do Curso de Direito da Ufsm, [s.l.], v. 8, p.162-171, 4 abr. 2013. Universidad Federal de Santa Maria. http://dx.doi.org/10.5902/198136948257. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/revistadireito/article/view/8257>. Acesso em: 28 dez. 2018.

MÅNSSON, André; SANCHES-PEREIRA, Alessandro; HERMANN, Sebastian. **Biofuels for road transport: Analyzing evolving supply chains in Sweden from an energy security perspective**. Applied Energy, [s.l.], v. 123, p.349-357, jun. 2014. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.01.098. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261914002037>. Acesso em: 13 jan. 2020.

MATHEZ, Edmond A.; SMERDON, SMERDONE. **Climate Change**: The Science of Global Warming and Our Energy Future. 02. ed. New York: Columbia University Press, 2018. 384p.

MAURITSEN, Thorsten; PINCUS, Robert. **Committed warming inferred from observations.** Nature Climate Change, [s.l.], v. 7, n. 9, p.652-655, 31 jul. 2017. Springer Nature. http://dx.doi.org/10.1038/nclimate3357. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nclimate3357>. Acesso em: 23 abr. 2019.

MCTI, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.** Brasília 2010. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0215/215070.pdf>. Acesso em 12 out.2018.

MEDINA FILHO, Mauro Lúcio Pereira et al. **Potencial de redução de CO2 pelo uso de energia elétrica em motobombas utilizadas no processo de irrigação no município de dona Euzébia - mg: um estudo comparativo das matrizes hidrelétricas e fotovoltaicas**. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS, 1., 2017, Catalão. Artigo. Catalão: Ufg, 2017. p. 1 - 10. Disponível em: <https://sienpro.catalao.ufg.br/up/1012/o/Mauro_L%C3%BAcio_Pereira_Medina_Filho.pdf>. Acesso em: 16 out. 2019.

MINAS GERAIS. Constituição (2009). Decreto nº 45.299, de 03 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.** Belo Horizonte, MG, 04 dez. 2009. Diário do Executivo. 04/12/2009. p. 2_col1. Disponivel em: Acesso em: 11 set. 2018.

MU, Dongyan et al. **Environmental and economic analysis of an in-vessel food waste composting system at Kean University in the U.S**. Waste Management**,** [s.l.], v. 59, p.476-486, jan. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.026. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X16305979#kg010>. Acesso em: 07 dez. 2020.

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. **How we measure background CO_2 levels on Mauna Loa.** EUA 2018. Pieter Tans and Kirk Thoning, NOAA Earth System Research Laboratory. March, 2018. Disponível em: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/about/co2_measurements.html>. Acesso em: 15 abr. 2019.

NOBRE, Carlos A.; MARENGO, Jose A.; SOARES, Wagner R. **Climate change risks in Brazil**. [s.l.] : Springer International Publishing, 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-92881-4.

OGUNKUNLE, Oyetola; AHMED, Noor A. **A review of global current scenario of biodiesel adoption and combustion in vehicular diesel engines**. Energy Reports, [s.l.], v. 5, p.1560-1579, nov. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.egyr.2019.10.028. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484719302240>. Acesso em: 30 dez. 2019.

OLIVEIRA, Thais Diniz; GURGEL, Angelo Costa; TONRY, Steve. **International market mechanisms under the Paris Agreement: A cooperation between Brazil and Europe**. Energy Policy, [s.l.], v. 129, p.397-409, jun. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2019.01.056. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421519300539?via%3Dihub>. Acesso em: 18 abr. 2019.

PARANÁ (Estado). Constituição (2012). **Lei nº 17.133, de 25 de Abril de 2012. Institui A Política Estadual Sobre Mudança do Clima**. Curitiba, PR, 25 abr. 2012. Disponível em: <https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisarAto.do?action=exibir&codAto=67271&indice=1&totalRegistros=1&dt=4.2.2019.20.53.1.93>. Acesso em: 25 nov. 2018.

PATCHELL, Jerry. **Can the implications of the GHG Protocol's scope 3 standard be realized?** Journal of Cleaner Production, [s.l.], v. 185, p.941-958, jun. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.003. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez83.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652618306528?via%3Dihub>. Acesso em: 30 dez. 2019.

PBMC, 2014: **Mitigação das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 3 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas** [Bustamante, M. M. C., Rovere E.L.L, (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 463 pp.

PIERREHUMBERT, R.T. (2011), **Infrared Radiation and planetary temperature.** Infrared radiative transfer theory, one of the most productive physical theories of the past century, has unlocked myriad secrets of the universe including that of planetary temperature and the connection between global warming and greenhouse gases. Physics Today 64, 33-38. Disponível em<http://geosci.uchicago.edu/~rtp1/papers/PhysTodayRT2011.pdf>.Acesso em: 25.fev.2019.

PIN, Bruno Vasconcelos Rosa et al. **Waste management studies in a Brazilian microregion: GHG emissions balance and LFG energy project economic** feasibility analysis. Energy Strategy Reviews, [s.l.], v. 19, p.31-43, jan. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.esr.2017.11.002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X17300688>. Acesso em: 04 out. 2019.

RUSSO, Simone et al. **Half a degree and rapid socioeconomic development matter for heatwave risk**. Nature Communications, [s.l.], v. 10, n. 1, p.1-9, 11 jan. 2019. Springer Nature. http://dx.doi.org/10.1038/s41467-018-08070-4. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-018-08070-4>. Acesso em: 23 jun. 2019.

RIDHOSARI, Betanti; RAHMAN, Ari. **Carbon footprint assessment at Universitas Pertamina from the scope of electricity, transportation, and waste generation: Toward a green campus and promotion of environmental sustainability.** Journal of Cleaner Production, [s.l.], v. 246, p.1-13, fev. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119172. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619340429. Acesso em: 28 fev. 2020.

SANTOS, Marco Aurélio dos et al. **Estimates of GHG emissions by hydroelectric reservoirs: The Brazilian case**. Energy, [s.l.], v. 133, p.99-107, ago. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.082. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544217308393>. Acesso em: 30 dez. 2018.

SCHAEFFER, Roberto et al. **Climate Change and the Energy Sector in Brazil**. Climate Change Risks in Brazil, [s.l.], p.143-179, 26 set. 2018. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-92881-4_6. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007 %2F978-3-319-92881-4_6>. Acesso em: 23 out. 2019.

SEINFELD, John H.; PANDIS, Spyros N. Global Climate. In: SEINFELD, John H.; PANDIS, Spyros N. **Atmospheric Chemistry and Physics**: from air pollution to climate change. 3. ed. [S.I.]: Wiley Interscience Publication, 2016. Cap. 23. p. 931-969.

SHERWOOD, Steven C. et al. **Adjustments in the Forcing-Feedback Framework for Understanding Climate Change**. Bulletin of The American Meteorological Society, [s.l.], v. 96, n. 2, p.217-228, fev. 2015. American Meteorological Society. http://dx.doi.org/10.1175/bams-d-13-00167.1. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/BAMS-D-13-00167.1>. Acesso em: 23 abr. 2019.

SILVA, Carlos Augusto Ramos e. **SISTEMA DE CARBONO INORGÂNICO**. In: SILVA, Carlos Augusto Ramos e. Oceanografia Química. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011. Cap. 4. p. 59-84.

SILVA, Clélia Christina Mello; GUIMARÃES, Mauro. **Mudanças climáticas, Saúde e Educação ambiental como Política Pública em Tempos de Crise Socioambiental**. 2018. Revista de Políticas Públicas, v.22, pp 1151-1170. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/31431>. Acesso em 04 dez. 2018.

SILVERSTEIN, Robert M.; WEBSTER, Francis X.; KIEMLE, David J. **Identificação Espectrométrica Compostos Orgânicos.** 7ª. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2006. 530 p.

SIMIONI, Tassio; SCHAEFFER, Roberto. **Georeferenced operating-efficiency solar potential maps with local weather conditions – An application to Brazil.** Solar Energy**,** [s.l.], v. 184, p.345-355, maio 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2019.04.006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X19303378>. Acesso em: 23 out. 2019.

STEFFEN, Will et al. **The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. The Anthropocene Review**, Canberra, v. 2, n. 1, p.81-98, 16 jan. 2015. SAGE Publications. http://dx.doi.org/10.1177/2053019614564785. Disponível em: <https://journals.sagepub.com>. Acesso em: 30 jun. 2019.

STEFFEN, Will; CRUTZEN, Paul J.; MCNEILL, John R. **The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature**. Ambio: A Journal of the Human Environment, [s.l.], v. 36, n. 8, p.614-621, dez. 2007. Royal Swedish Academy of Sciences. http://dx.doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36 [614: techno]2.0.co;2. Disponível:<http://www.ambio.kva.se>. Acesso em: 01 jul. 2019.

SUBRAMANYAM, Veena; AHIDUZZAMAN, Md.; KUMAR, Amit. **Greenhouse gas emissions mitigation potential in the commercial and institutional sector.** Energy and Buildings, [s.l.], v. 140, p.295-304, abr. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.007. Disponível em: <Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.007>. Acesso em: 01 ago. 2019.

SUN, Qiaohong et al. **Global heat stress on health, wildfires, and agricultural crops under different levels of climate warming**. Environment International, [s.l.], v. 128, p.125-136, jul. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2019.04.025. Disponivel em:< https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412018328654 >Acesso em 23 jun. 2019.

UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. **Relatório da Conferência das Partes em sua Sétima Seção,** Realizada em Marrakesh de 29 de outubro a 10 de novembro de 2001, FCCC/CP/2001/13/Add.2, Decisão 16/CP.7, Diretrizes para a Implementação do Artigo 6 do Protocolo de Kyoto, 21 de janeiro de 2002 <Disponível em http://UNFCCCc.int/> Acesso em: 28 dez. 2018.

UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. **The Kyoto Protocol to the Convention on Climate Change**. 1998. Disponível em: <https://UNFCCCc.int/process-and-meetings/the-convention/what-is-the-united-nations-framework-convention-on-climate-change.> Acesso em: 28 dez.2018.

UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. **Fifteenth session of the Conference of the Parties - COP15**.2009. A COP 15 aconteceu de 7 a 18 de dezembro de 2009 em Copenhague, na Dinamarca. Disponível em: <https://UNFCCCc.int/process-and-meetings/conferences/past-conferences/copenhagen-climate-change-conference-december-2009/cop-15>. Acesso em: 28 dez. 2018.

UNFCCC. **The twenty-first session of the Conference of the Parties, COP21, and the eleventh session of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol (CMP)** took place from 30 November to 11 December 2015, in Paris, France.2015. Disponível em: <https://UNFCCCc.int/process-and-meetings/conferences/past-conferences/paris-climate-change-conference-november-2015/cop-21>. Acesso em: 28 dez. 2018.

UNFCCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change**; Tool to calculate the emission factor for an electricity system:** Methodological tool: Tool to calculate the emission factor for an electricity system Version 04.0. 2013. MDL, Clean Development Mechanism. Disponível em :<https://cdm.UNFCCCc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-07-v1.1.pdf/history_view>. Acesso em: 28 dez. 2018.

VALLERO, Daniel. **Life Cycle Assessment of Air Pollutants.** Fundamentals of Air Pollution, [s.l.], p.111-133, 2014. Elsevier. http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-401733-7.00005-0.

WALKER, Gabrielle; KING, Sir David. **O Tema Quente: Como combater o aquecimento global e manter as luzes acesas.** São Paulo: Objective, 2008. 388 p.

WALLACE A. R. **Man's Place in the Universe: A Study of the Results of Scientific Research in Relation to the Unity or Plurality of Worlds.** Londres. 1903. 15pg.

WU, Peishi et al. **Review on Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emission Profit of Solar Photovoltaic Systems.** Energy Procedia, [s.l.], v. 105, p.1289-1294, maio 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.460. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217305015>. Acesso em: 06 out. 2019.

WU, Xiaoxu et al. **Impact of climate change on human infectious diseases: Empirical evidence and human adaptation**. Environment International, [s.l.], v. 86, p.14-23, jan. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2015.09.007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412015300489>. Acesso em: 24 jun. 2019.

APÊNDICE

Apêndice 1: Memorial de Cálculo das emissões de GEE.

Gráfica A		ELETRICIDADE (kWh)	
Mês	**2016**	**2017**	**2018**
jan,	80.614	89.040	103.717
fev,	67.816	64.800	79.788
mar	123.674	106.480	95.251
abr,	115.599	121.100	95.022
mai.,	125.127	87.840	84.102
jun.,	127.038	68.560	82.285
jul.,	104.659	63.600	71.947
ago.,	118.833	91.120	84.724
set	97.340	79.440	98.232
out	82.598	80.420	51.560
nov.,	63.051	79.720	51.560
dez	114.945	89.040	51.560
média	101.775	85.097	79.146
SOMA	1.221.294	1.021.160	949.748
média do triênio		**1.064.067**	
média do mês		88.672	

Gráfica B		ELETRICIDADE (kWh)	
Mês	**2016**	**2017**	**2018**
jan.,	23.760	28.240	20.000
fev,	28.000	29.920	22.720
mar	26.400	36.160	21.520
bar,	28.640	28.240	19.040
mai.,	26.240	24.560	15.600
jun.,	20.880	20.960	14.240
jul.,	22.960	17.520	13.760
ago.,	24.560	17.280	14.800
set	24.320	18.880	12.072
out	21.760	24.480	23.120
nov.,	25.360	13.920	19.640
dez	25.600	21.600	23.600
Total	298.480	281.760	220.112

Cálculos Escopo 3 - Cálculos das Emissões dos Resíduos de Incineração. Gráfica A e Gráfica B Triênio 2016 a 2018.

Planilha de Cálculo de N_2O:

Sector	Waste		
Category	Wsate Incineration		
Category Code	4C1		
Sheet	I of I Estimation of N_2O emissions from Incineration of Waste		
	A	B	C
Type of Waste	Total Amount of Waste Incinerated (Wet Weight [1]) (t Waste)	Nitrous Oxide Emission Factor (t N_2O/ t Wet Waste) [1]	Nitrous Oxide Emissions (t N_2O) C= A x B x (10^{-6}) [2]
Municipal Solid Waste			
Industrial solid waste GA 2016	7,348	1,00E-04	7,35E-04
Industrial solid waste GA 2017	6,763	1,00E-04	6,76E-04
Industrial solid waste GA 2018	6,182	1,00E-04	6,18E-04
Industrial solid waste GB 2016	1,342	1,00E-04	1,34E-04
Industrial solid waste GB 2017	1,121	1,00E-04	1,12E-04
Industrial solid waste GB 2018	1,010	1,00E-04	1,01E-04
		Total	
1 If the total amount of waste is expressed in terms of dry waste, the N_2O emission factor needs to refer to dry waste instead.			
2 10^{-6} converts results into Gg .			

TABLE 5.6
DEFAULT N_2O EMISSION FACTORS FOR DIFFERENT TYPES OF WASTE AND MANAGEMENT PRACTICES

Type of waste	Technology / Management practice	Emission factor (g N_2O / t waste)	weight basis
MSW	continuous and semi-continuous incinerators	50	wet weight
MSW	batch-type incinerators	60	wet weight
MSW	open burning	150	dry weight
Industrial waste	all types of incineration	100	wet weight
Sludge (except sewage sludge)	all types of incineration	450	wet weight
Sewage sludge	incineration	990	dry weight
		900	wet weight

Source: Expert judgement by lead authors of this chapter of *2006 Guidelines*

Fonte: IPCC, 2006.

Planilha de Cálculo de CH_4:

Sector	Waste		
Category	Waste Incineration		
Category Code	4C1		
Sheet	I of I Estimation of CH_4 emissions from Incineration of Waste		
	A	B	C
Type of Waste	Amount of Waste Incinerated (Wet Weight) [1]	Methane Emission Factor	Methane Emissions
	(Gg Waste)	(kg CH_4/Gg Wet Waste) [1]	(Gg CH_4)
			C= A x B x 10^{-6} [2]
Municipal Solid Waste			
Industrial solid waste GA16	7,348	6	4,41E-05
Industrial solid waste GA17	6,763	6	4,06E-05
Industrial solid waste GA 18	6,182	6	3,71E-05
Industrial solid waste GB16	1,342	6	8,05E-06
Industrial solid waste GB17	1,121	6	6,73E-06
Industrial solid waste GB18	1,01	6	6,06E-06
		Total	

1 If the total amount of waste is expressed in terms of dry waste, the CH_4 emission factor needs to refer to dry waste instead.

2 10^{-6} converts results into Gg.

TABLE 5.3
CH_4 EMISSION FACTORS FOR INCINERATION OF MSW

Type of incineration/technology		CH_4 Emission Factors (kg/Gg waste incinerated on a wet weight basis)
Continuous incineration	stoker	0.2
	fluidised bed Note1	~0
Semi-continuous incineration	stoker	6
	fluidised bed	188
Batch type incineration	stoker	60
	fluidised bed	237

Note 1: In the study cited for this emission factor, the measured CH_4 concentration in the exhaust air was lower than the concentration in ambient air.

Source: Greenhouse Gas Inventory Office of Japan, GIO 2004.

Fonte: IPCC,2006.

Planilha de Cálculo CO_2

Sector		**Waste**					
Category		**Waste Incineration**					
Category Code		**4C1**					
Sheet		**I of I Estimation of CO_2 emissions from Incineration of Waste**					
		A	B	C	D	E	F	G
Type of Waste		Total Amount of Waste Incinerated (Wet Weight)	Dry Matter Content [1]	Fraction of Carbon in Dry Matter [2]	Fraction of Fossil Carbon in Total Carbon[3]	Oxidation Factor	Conversion Factor	Fossil CO_2 Emissions
			dm	CF	FCF	OF		
		(t Waste)	(fraction)	(fraction)	(fraction)	(fraction)	44/12	(t CO_2)
								G= A x B x C x D x E x F
Municipal Solid Waste (MSW) [4, 5]								
Composition [4,5]	Plastics							
	Textiles							
	Rubber							
	Nappies							
Industrial solid waste		7,348	0,70	0,50	0,90	1,00	3,6666667	8,487
Industrial solid waste		6,763	0,70	0,50	0,90	1,00	3,6666667	7,811
Industrial solid waste		6,182	0,70	0,50	0,90	1,00	3,6666667	7,140
Industrial solid waste		1,342	0,90	0,50	0,90	1,00	3,6666667	1,993
Industrial solid waste		1,121	0,90	0,50	0,90	1,00	3,6666667	1,665
Industrial solid waste		1,01	0,90	0,50	0,90	1,00	3,6666667	1,500
Hazardous waste								
Clinical waste								
Sewage sludge								
Other (specify)								
							Total	

1 For default data and relevant equations on the dry matter content in MSW and other types of waste, see Section 5.3.3 in Chapter 5.
2 For default data and relevant equations on the fraction of carbon, see Section 5.4.1.1 in Chapter 5.
3 For default data and relevant equations on the fraction of fossil carbon, see Section 5.4.1.2 in Chapter 5.
4 Users may either enter all MSW incinerated in the MSW row or the amount of waste by composition by adding the appropriate rows.
5 All relevant fractions of fossil C should be included. For consistency with the CH_4 and N_2O sheets, the total amount incinerated should be reported here. However the fossil CO_2 emissions from MSW should be reported either for total MSW or its components.

It is generally more practical to estimate CO_2 emissions from incineration and open burning of waste using calculations based on the carbon content in the waste, instead of measuring the CO_2 concentration.

Default values for parameters related to emission factors are shown in Table 5.2. Each of these factors is discussed in detail in the sections below[3].

TABLE 5.2
DEFAULT DATA FOR CO_2 EMISSION FACTORS FOR INCINERATION AND OPEN BURNING OF WASTE

Parameters	Management practice	MSW	Industrial Waste (%)	Clinical Waste (%)	Sewage Sludge (%) Note 4	Fossil liquid waste (%) Note 5
Dry matter content in % of wet weight		see Note 1	NA	NA	NA	NA
Total carbon content in % of dry weight		see Note 1	50	60	40 – 50	80
Fossil carbon fraction in % of total carbon content		see Note 2	90	40	0	100
Oxidation factor in % of carbon input	incineration	100	100	100	100	100
	Open- burning (see Note 3)	58	NO	NO	NO	NO

NA: Not Available, NO: Not Occurring

Note 1: Use default data from Table 2.4 in Section 2.3 Waste composition and equation 5.8 (for dry matter), Equation 5.9 (for carbon content) and Equation 5.10 (for fossil carbon fraction).

Note 2: Default data by industry type is given in Table 2.5 in Section 2.3 Waste composition. For estimation of emissions, use equations mentioned in Note 1.

Note 3: When waste is open-burned, refuse weight is reduced by approximately 49 to 67 percent (US-EPA, 1997, p.79). A default value of 58 percent is suggested.

Note 4: See Section 2.3.2 Sludge in Chapter 2.

Note 5: The total carbon content of fossil liquid waste is provided in percent of wet weight and not in percent of dry weight (GIO, 2005).

References: *GPG2000* (IPCC, 2000), Lead Authors of the *2006 Guidelines*, Expert judgement.

Fonte: IPCC, 2006.

Cálculos Escopo 3 - Cálculos das Emissões do transporte de Resíduos Classe I e Classe IIA.

Cálculos da Ferramenta *GHG Protocol* – Escopo 3 Gráficas A e B ano 2016. Fontes Moveis Transporte de Resíduos por terceiros

Emissões de CO_2 fóssil (t)	Emissões de CH_4 (t)	Emissões de N_2O (t)	Emissões totais (t CO_2e)	Emissões de CO_2 biogênico (t CO_2)	2016			
0,000000	*0,003826*	*0,000383*	*0,209665*	*9,950878*	**GRAFICA**	**RESIDUO**	**LITROS/ANO**	LITROS /ANO BIO
1,128261	0,000157	0,000078	1,155509	0,079311	**A**	**IIA**	**433,45**	**32,63**
1,670345	0,000232	0,000116	1,710685	0,117417	**A**	**PERIGOSO**	**641,7**	**48,3**
0,220033	0,000031	0,000015	0,225346	0,015467	**B**	**PERIGOSO**	**84,53**	**6,36**
0,343147	0,000048	0,000024	0,351434	0,024122	**B**	**IIA**	**131,83**	**9,92**

Distância mensal percorrida em 2016 pelo transporte de resíduos.

Registro da frota	Tipo da frota de veículos	Ano da frota	Escolha um tipo de relato (mensal ou anual) 2016												
			Distância mensal percorrida (km)												Distância anual (km)
			jan.	fev	mar	bar	mai.	jun.	jul.	ago.	set	out	nov.	dez	
EMPRESA A CLASSE IIA	Caminhão médio a Diesel	2012	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00	275,00	275,00	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00	3.300
EMPRESA A CLASSE I PERIGOSO	Caminhão médio a Diesel	2012	483,00		483,00	483,00	483,00	483,00	483,00		483,00			483,00	3.864
EMPRESA BCLASSE I PERIGOSO	Caminhão médio a Diesel	2012						509,00							509
EMPRESA B CLASSE IIA	Caminhão médio a Diesel	2012	56,70	56,70	56,70	56,70	56,70	113,40	113,40	56,70	56,70	56,70	56,70	56,70	672

Cálculos da Ferramenta GHG Protocol – Escopo 3 Gráficas A e B ano 2017. Fontes Moveis Transporte de Resíduos por terceiros.

Emissões de CO_2 fóssil (t)	Emissões de CH_4 (t)	Emissões de N_2O (t)	Emissões totais (t CO_2e)	Emissões de CO_2 biogênico (t CO_2)	2017			
0,00000	*0,00383*	*0,00038*	*0,20966*	*9,95088*	**GRAFICA**	**RESIDUO**	**LITROS/ANO**	LITROS /ANO BIO
1,06263	0,00015	0,00007	1,08852	0,08435	**A**	**IIA**	408,23	34,7
1,03499	0,00014	0,00007	1,06020	0,08177	**A**	**PERIGOSO**	397,61	33,64
0,21767	0,00003	0,00002	0,22298	0,01768	**B**	**PERIGOSO**	83,62	7,27
0,29149	0,00004	0,00002	0,29859	0,02314	**B**	**IIA**	111,98	9,52

Distância mensal percorrida em 2017 pelo transporte de resíduos.

2017

Registro da frota	**Tipo da frota de veículos**	**Ano da frota**	**Escolha um tipo de relato (mensal ou anual) 2017**												
			Distância mensal percorrida (km)												Distância anual (km)
			jan.	**fev**	**mar**	**bar**	**mai.**	**jun.**	**jul.**	**ago.**	**set**	**out**	**nov.**	**dez**	
EMPRESA A RSD CLASSE IIA	Caminhão médio a Diesel	2012	206,70	206,70	206,70	206,70	206,70	206,70	206,70	206,70	206,70	206,70	206,70	206,7	2.480
EMPRESA A RSD CLASSE I	Caminhão médio a Diesel	2012	483,00		483,00		483,00				483,00			483,0	3.381
EMPRESA B RSD CLASSE I	Caminhão médio a Diesel	2012						509,00							509
EMPRESA B RSD CLASSE II	Caminhão médio a Diesel	2012	56,70	56,70	56,70	56,70	56,70	56,70	56,70	56,70	56,70	56,70	56,70	56,70	680

Cálculos da Ferramenta *GHG Protocol* – Escopo 3 Gráficas A e B ano 2018. Fontes Moveis Transporte de Resíduos por terceiros.

Emissões de CO_2 fóssil (t)	Emissões de CH_4 (t)	Emissões de N_2O (t)	Emissões totais (t CO_2e)	Emissões de CO_2 biogênico (t CO_2)
0,00000	*0,00383*	*0,00038*	*0,20966*	*9,95088*
1,04149	0,00015	0,00007	1,06739	0,10409
1,01478	0,00014	0,00007	1,03999	0,10064
0,21293	0,00003	0,00002	0,21825	0,02210
0,28569	0,00004	0,00002	0,29280	0,02855

2018

GRAFICA	RESIDUO	LITROS/ANO	LITROS /ANO BIO
A	**IIA**	400,11	47,82
A	**PERIGOSO**	389,85	41,4
B	**PERIGOSO**	83,62	9,09
B	**IIA**	111,98	11,75

Distância mensal percorrida em 2018 pelo transporte de resíduos.

2018

Registro da frota	Tipo da frota de veículos	Ano da frota	Escolha um tipo de relato (mensal ou anual)												
			Distância mensal percorrida (km)												Distância anual (km)
			jan.	fev	mar	bar	mai.	jun.	jul.	ago.	set	out	nov.	dez	
EMPRESA A RSD CLASSE IIA	Caminhão médio a Diesel	2012	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	206	2.472
EMPRESA A RSD CLASSE I	Caminhão médio a Diesel	2012	483	483	483	483	483	483	483	483	483	483	483	483	5.796
EMPRESA B RSD CLASSE I	Caminhão médio a Diesel	2012						509							509
EMPRESA B RSD CLASSE II	Caminhão médio a Diesel	2012	56,70	56,70	56,70	56,70	56,70	56,70	56,70	56,70	56,70	56,70	56,70	56,70	680

Cálculos Escopo 3 Tratamento de Resíduos em Aterro Sanitário.

Resíduos aterrados

Orientações:

(A) Esta seção da ferramenta contempla o cálculo de emissões de GEE para a disposição de resíduos em um único local. Sendo assim, cada local diferente de disposição de resíduos deve ter seu cálculo de emissões de maneira separada. No entanto, caso os resíduos sejam aterrados em locais diferentes, mas os locais e os resíduos tenham exatamente as mesmas características (entre elas, mas não limitadas a: caracterísitcas do local de disposição, condições climáticas da região, etc.), pode-se agregar os dados.

(B) Por conta do perfil de degradação da matéria orgânica em aterros, as emissões de GEE pela disposição de resíduos em aterros ocorrem por um período superior a 30 anos após a sua disposição.

(C) IMPORTANTE: Seguindo o disposto no "*Greenhouse Gas Protocol Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard*", do The GHG Protocol, as emissões que ocorrerão pela disposição de resíduos sólidos em aterros **devem ser todas alocadas no ano de geração do resíduo**, uma vez que a organização inventariante não tem poder de gestão dessas emissões. Essa premissa só é válida para Escopo 3, não podendo ser replicada para emissões do tratamento de resíduos do Escopo 1.

(D) Apenas para fins da quantificação das emissões, adotou- se a recomendação do IPCC de que a decomposição dos resíduos depositados em um ano se inicia em 1º de janeiro do ano seguinte.

Passo 1. Dados do local de disposição final dos resíduos

Estado (UF):	RJ
Município:	Rio de Janeiro

Características climáticas do local de disposição do resíduo

Temperatura anual média [°C]:	25,1
Precipitação anual [mm/ano]:	1.106
Potencial de evapotranspiração [mm/ano]:	-

Referência: INMET, 2018.

Passo 2. Dados de atividade da organização inventariante

Preencha com a quantidade de resíduos aterrada, para o ano inventariado.

	Ano	2018
Quantidade de resíduos enviados ao aterro no ano	[t/ano]	36,10

Passo 3. Dados da composição do resíduo

Preencha a composição do resíduo gerado pela organização.

Preencha com a porcentagem, de 0 a 100, correspondente a cada tipo de resíduo, em relação ao resíduo total.

Caso a soma da composição não atinja 100%, a diferença será automaticamente atribuída à categoria *Outros* .

O teor do componente orgânico degradável (DOC) no lodo varia dependendo do método de tratamento de efluentes que gerouo lodo e também é diferente para lodo doméstico e industrial.

Para efeito dessa ferramenta, utilizamos um valor default do IPCC para lodo doméstico. Caso tenha o valor específico de DOC do lodo que está indo para o aterro, altere o parâmetro na célula "BN 53".

A categoria *Outros* representa os resíduos inertes que, em condições anaeróbicas, não geram metano (CH_4) como produto de sua decomposição.

Composição do resíduo	Ano	2018
A - Papéis/papelão	A / Total [%]	20,0%
B - Resíduos têxteis	B / Total [%]	20,0%
C - Resíduos alimentares	C / Total [%]	50,0%
D - Madeira	D / Total [%]	10,0%
E - Resíduos de jardim e parque	E / Total [%]	0,0%
F - Fraldas	F / Total [%]	0,0%
G - Borracha e couro	G / Total [%]	0,0%
H - Lodo de esgoto	H / Total [%]	0,0%
Outros materiais inertes	[%]	0,00%
DOC - Carbono Orgânico Degradável no ano	[tC/tMSW]	0,246

Qualidade da disposição de resíduos [MCF^1]

Entre com a classificação do aterro em relação à qualidade do local para onde foram destinados os resíduos em cada ano.

Qualidade do local de disposição dos resíduos	A : se não possui a classificação do aterro	Aterros com classificação desconhecida e que não se encaixe em nenhuma das categorias abaixo.
	B : se aterro com profundidade < 5m	Todos os aterros que não atendem aos critérios dos aterros sanitários e semi-aeróbios, e que possuem profundidade menor que 5 metros.
	C : se aterro com profundidade >= 5m	Todos os aterros que não atendem aos critérios dos aterros sanitário e semi-aeróbio, e que possuem profundidade igual ou maior a 5 m e/ou alto nível do lençol freático (próximo à superfície). Este último critério corresponde ao preenchimento de antigos corpos d'água por resíduos (ex. lagos ou rios vazios).
	D : se aterro sanitário	Devem ter controle do aterramento de resíduo (ex. resíduo destinado especificamente para uma área do aterro, controle de escavação e de chamas), incluindo ao menos um dos seguintes métodos: (i) material de cobertura; (ii) compactação mecânica; ou (iii) nivelamento do resíduo.
	E : se aterro semi-aeróbio manejado	Devem ter controle do aterramento de resíduo e incluir todas as seguintes estruturas para introduzir ar nas camadas de resíduos: (i) material de cobertura permeável; (ii) sistema de drenagem de chorume; (iii) tanque de regulação; e (iv) sistema de ventilação de gases.

Ano	2018
Classificação para cada ano (A, B, C, D ou E)	D
Fator de correção de metano (MCF)	1
Fator de oxidação (OX)	0,1

Concentração do Biogás

Fração de CH_4 no biogás	

Entre com o dado, entre 0 e 1. Sendo que 1 corresponde a um biogás com 100% de metano (CH_4). Caso não possua este dado, deixe em branco. Será adotado o *default* do IPCC (2006), que é igual a 0,5.

Emissões projetadas de CH_4 do resíduo gerado no ano inventariado	[tCH_4/ano]	2,313
Emissões projetadas em CO_2e do resíduo gerado no ano inventariado	[tCO_2e/ano]	57,834
Emissões projetadas de CO_2 biogênico do resíduo gerado no ano	[tCO_2/ano]	-