

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

ANDERSON JEFFERSON GOMES DA SILVA

**INVENTÁRIO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DE ALAGOAS: Setores de Energia,
Agricultura e Pecuária**

MACEIÓ -AL

2024

ANDERSON JEFFERSON GOMES DA SILVA

**INVENTÁRIO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DE ALAGOAS: Setores de Energia,
Agricultura e Pecuária**

Trabalho de Dissertação apresentado como requisito para obtenção de aprovação no Mestrado Acadêmico do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, do Instituto de Ciências Atmosféricas, da Universidade Federal de Alagoas.

Orientador: Professor Dr. Glauber Lopes Mariano.

MACEIÓ - AL

2024

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

S586i Silva, Anderson Jefferson Gomes da.
Inventário de gases de efeito estufa de Alagoas : setores de energia,
agricultura e pecuária / Anderson Jefferson Gomes da Silva. – 2024.
103 f. : il. color.

Orientador: Glauber Lopes Mariano.
Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de
Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Programa de Pós-Graduação
em Meteorologia. Maceió, 2024.

Bibliografia: f. 94-103.

1. Inventário. 2. Gases de Efeito Estufa (GEE) – Fontes de emissões –
Alagoas. 3. Poluição atmosférica. I. Título.

CDU: 551.588.74 (813.5)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-205.

“INVENTÁRIO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DE ALAGOAS: Setores de Energia, Agricultura e Pecuária.”

ANDERSON JEFFERSON GOMES SILVA

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Aprovado pela Banca Examinadora composta por:

Documento assinado digitalmente
gov.br GLAUBER LOPES MARIANO
Data: 25/09/2024 12:31:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Glauber Lopes Mariano
(Orientador)

Documento assinado digitalmente
gov.br HELIOFABIO BARROS GOMES
Data: 24/09/2024 20:52:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Heliofabio Barros Gomes
(Membro Interno)

Documento assinado digitalmente
gov.br MARCELO FELIX ALONSO
Data: 23/09/2024 19:07:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcelo Felix Alonso
(Membro Externo)

JULHO/2024

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a YHWH (יהוה) aquele que não só navega sobre os números da matemática, suas variáveis, os conceitos da física, que transcendem as funções químicas das mais simples substâncias às mais complexas, mas que pelo poder do verbo as fundou para passar a existir.

A Deus, compositor das estruturas que compõem aquilo que sustenta também o universo sobre o nada. E que nos dotou de capacidade para entender além daquilo que conseguimos perceber com os nossos sentidos, mas que é necessário para desnudarmos a compreensão das estruturas do mundo, do universo e de toda a vida que nele há.

Dedico também este trabalho a todos os homens e mulheres que dedicaram suas vidas à compreensão das leis que regem a natureza e a existência; pois, sem a contribuição de cada um, o todo de uma parte que vemos hoje seria apenas uma parte do todo atual.

Dedico este trabalho a todos os que de forma direta e indireta contribuíram para que pudéssemos ter o conhecimento que temos e a continuar indo mais adiante.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que me dotou das ferramentas certas para que pudesse alcançar meus objetivos de vida, me sustentando nos momentos em que eu pensei está só.

Agradeço a minha mãe, Ângela Maria da Silva, por oferecer e ser base para que eu alçasse voos maiores. À minha avó, Severina Gomes da Silva que, mesmo sem lembrar mais de nada, continua torcendo por mim e se orgulhando. À minha irmã, Jéssica Letícia Gomes da Silva que teve sua contribuição.

Agradeço ao meu orientador, Glauber Lopes Mariano, por ter topado o desafio que é me mostrar caminhos, ajudando a transformar e superar as pedras que apareceram no caminho em oportunidades de aprimorar conhecimentos e enxergar compreendendo mais longe sobre o caminho a trilhar. Obrigado pela grande paciência e a forma de orientar. Agradeço ainda pela compreensão diante das dificuldades na saúde que tive que enfrentar no durante e no pós-pandemia.

Sou grato aos professores José Francisco de Oliveira Júnior e a Fabiana Rita do Couto Santos Pereira que fizeram parte da etapa de qualificação desta dissertação contribuindo para enxergar limites e indicando melhores direções com suas expertises.

A Emylle Isabelle Gonçalves Barbosa, pela sua contribuição com sua expertise nas emissões de dados móveis. E as minhas queridas colegas de mestrado, Maiane Rodrigues Nascimento e a Nathalia Bissaque Pessota pelo companheirismo mútua ajuda na caminhada do mestrado.

Sou grato aos professores e professoras do Instituto de Ciências Atmosféricas, por serem fundamentais para o meu aprendizado, em especial a Fabricio Silva, Vladimir Levit, Natalia Fedorova, Luciene Melo, Geórgenes Cavalcante e a Helber Gomes. Gratidão ao secretário do mestrado Rafael Araújo, do ICAT.

Agradeço a banca examinadora, que com certeza deu profundas contribuições neste trabalho e ajudou em meu desenvolvimento.

Agradeço a FAPEAL pela oportunidade de bolsa cota CAPES, tal incentivo ajudou na árdua jornada ao longo de todo o curso do mestrado. Sou grato a todos que participaram direta e indiretamente para a realização deste trabalho e o caminho percorrido por mim ao longo desses ciclos.

“Ele estende os céus do norte sobre o espaço vazio;
suspende e equilibra a terra sobre o nada. (Jó 26:7).

RESUMO

Diante dos grandes desafios que a humanidade encara sobre as mudanças climáticas e a necessidade de delinear e quantificar os impactos, também, de origem antrópica na dinâmica atmosférica, o inventário sobre Gases de Efeito Estufa (GEE) é uma das ferramentas base que fornece dados relevantes para direcionar determinadas políticas públicas, ou ações da sociedade civil, para diminuição das emissões de GEE na atmosfera. Tendo em vista que o Estado de Alagoas tem poucas produções científicas sobre fontes e emissões de GEE, esta pesquisa tem por objetivo elaborar um inventário de Gases de Efeito Estufa dentro do território alagoano para o ano de 2019 utilizando dados do uso da madeira e carvão, transportes rodoviários, pecuária, agricultura e os estoques de CO₂ nas Unidades de Conservação (UCs) alagoana. Para tanto, elencou-se os seguintes objetivos específicos: quantificar, nos setores mencionados, as emissões de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), mensurar os estoques de CO₂ nas UCs de Alagoas e analisar as principais fontes responsáveis pelas emissões de GEE no território alagoano. Para atingir os objetivos deste trabalho foi realizada, então, uma pesquisa quali-quantitativa organizada nas seguintes etapas: a caracterização do local de estudo, a identificação e seleção das fontes de emissões e seus respectivos GEE e as UCs, definição dos tipos de gases inventariados, triagem e escolha das fórmulas e procedimentos a serem aplicados, delimitação dos coeficientes de fatores de emissão para cada tipo de fonte e gás, realização das estimativas e a apresentação do inventário de GEE em análise comparativa dos dados. Em 2019, desconsiderando a cultura do eucalipto, Alagoas emitiu cerca de 13,8 MtCO₂e, dos quais, 75% vieram da criação de animais puxados pelos bovinos, 17% dos transportes rodoviários, 6% do cultivo das culturas temporárias e permanentes, em especial, pelo cultivo da cana de açúcar e 2% do uso da madeira. Sendo evidenciado também os estoques de CO₂ nas unidades de conservação das quais a Áreas de Proteção Ambiental são as maiores estocadoras de CO₂.

Palavras-chave: Inventário; Gases de Efeito Estufa; Fontes de Emissões; Poluição Atmosférica.

ABSTRACT

Faced with the great challenges that humanity faces regarding climate change and the need to outline and quantify impacts, also of anthropogenic origin, on atmospheric dynamics, the Greenhouse Gas (GHG) inventory is one of the basic tools that provides relevant data to direct certain public policies, or civil society actions, to reduce GHG emissions into the atmosphere. Considering that the State of Alagoas has few scientific productions on GHG sources and emissions, this research aims to prepare an inventory of Greenhouse Gases within the Alagoas territory for the year 2019 using data on the use of wood and coal, road transport, livestock, agriculture and CO₂ stock in Conservation Units (UCs) in Alagoas. To this end, we list the following specific objectives: quantify, in the specified sectors, emissions of carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O), measure CO₂ stocks in the UCs of Alagoas and analyze how main sources responsible for GHG emissions in the territory of Alagoas. To achieve the objectives of this work, a qualitative-quantitative research was carried out, organized in the following stages: characterization of the study site, identification and selection of emission sources and their respective GHGs and UCs, definition of the types of gases inventoried, screening and choosing the formulas and procedures to be applied, delimiting the emission factor coefficients for each type of source and gas, making estimates and presenting the GHG inventory in comparative data analysis. In 2019, disregarding eucalyptus cultivation, Alagoas emitted around 13.8 MtCO₂e, of which 75% came from raising animals drawn by cattle, 17% from road transport, 6% from the cultivation of temporary and permanent crops, especially, by the cultivation of sugar cane and 2% of the use of wood. CO₂ stocks are also highlighted in conservation units, of which Environmental Protection Areas are the largest CO₂ stores.

Keywords: Inventory; Greenhouse gases; Sources of Emissions. Atmospheric Pollution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Exemplificação de escopos I, II e III	25
Figura 2	- Menu ferramenta <i>GHG protocol 2016.1.1</i>	33
Figura 3	- Localização geográfica do estado de alagoas (AL), BRASIL	41
Figura 4	- Distribuição da participação setorial do PIB em 2019 e anos anteriores	43
Figura 5	- Distribuição do PIB entre os estados do nordeste – média de 2002 a 2020%	43
Figura 6	- Setores de emissões de GEE no Estado de Alagoas inventariados nesta pesquisa	47
Figura 7	- Ilustração do processo de obtenção dos GEE advindos dos transportes rodoviários	58
Figura 8	- Fluxograma do Processo desenvolvido	59
Figura 9	- Emissão de GEE advindos da queima da madeira e resíduo de madeira em 2019. Eixo X, origem da madeira. Eixo Y, quantidade de emissão de tCO ₂ , tCH ₄ e tN ₂ O em tCO ₂ e respectivamente.	65
Figura 10	- Emissão de GEE advindos da queima do carvão em 2019. Eixo X, tipo de GEE. Eixo Y, quantidade de GEE em toneladas de emissão	66
Figura 11	- Somatória anual das quantidades totais de emissões advindos dos combustíveis utilizados nos transportes rodoviários por tipo de veículo e tipo de GEE em 2019. Eixo X, tipo de veículo. Eixo Y emissões de GEE em toneladas	69
Figura 12	- Variação do fator de emissão em gramas de CO ₂ a cada ano de fabricação de cada tipo de veículo e tipo de combustível da frota de 2019 em Alagoas – eixo y quantidade de gramas emitidas, eixo x ano de fabricação	71
Figura 13	- Variação da intensidade de uso em quilometro por ano a cada ano de fabricação do veículo em cada categoria veicular e utilização de combustível – eixo y quantidade de quilômetros andado durante um ano; eixo x ano de fabricação	72
Figura 14	- Variação do fator de emissão em gramas do CH ₄ em cada ano de fabricação para cada categoria veicular e tipo de combustível utilizado em 2019 em Alagoas. Eixo Y, quantidade do fator de emissão em gramas. Eixo X variação da quantidade de emissão conforme o ano de fabricação	73
Figura 15	- Variação dos fatores de emissão em gramas do N ₂ O por tipo de veículo, combustível em cada ano de fabricação da frota de 2019 em Alagoas	74
Figura 16	- Total de emissões em toneladas dos advindos combustíveis utilizados nos transportes rodoviários por tipo de combustível e tipo de GEE em 2019. Eixo X, tipo de combustível. Eixo Y quantidade de emissão em tCO ₂ e	75
Figura 17	- Emissão de GEE estufa em tonelada por tipo de GEE no ano de 2019. Eixo X, tipo de GEE. Eixo Y, quantidade de emissão de GEE em tCO ₂ e	76
Figura 18	- Estoque de CO ₂ em toneladas por tipo de UC e bioma em Alagoas. RPPN (Reserva Particular do Patrimônio Natural); APA (Área de Proteção Ambiental); ESEC (Estação Ecológica); MONA (Monumento Natural do Rio São Francisco); REBIO (Reserva Biológica de Pedra Talhada); RESEC (Reserva Ecológica); SEREX (Reserva Extrativista Marina da Lagoas do Jequiá)	78
Figura 19	- Capacidade de estocagem em toneladas de CO ₂ em um hectare por tipo de UC.	79

	Eixo X, tipo de UC. Eixo Y, quantidade de estoque de tCO ₂ por hectare	
Figura 20	- Estoque de toneladas de CO ₂ por UCs Pública ou Privada e tipo de vegetação	80
Figura 21	- Emissões de GEE em toneladas de CO ₂ e por tipo de criação de animais e GEE em Alagoas em 2019. Eixo X, tipos de animais. Eixo Y, quantidade de emissões em tCO ₂ e em 2019	85
Figura 22	- Coeficiente de emissão em tonelada CH ₄ por tipo de fonte da pecuária. Eixo X, tipos de animais de criação. Eixo Y, quantidade de emissão de KgCO ₂ e por animal	86
Figura 23	- Coeficiente de emissão em toneladas de N ₂ O por tipo de fonte da pecuária. Eixo X, tipos de animais de criação. Eixo Y, quantidade de emissão de KgCO ₂ e por animal	86
Figura 24	- Participação nas emissões de GEE da pecuária devido a quantidade dos animais de criação no estado de Alagoas e, 2019. No eixo y a quantidade de animais, no eixo x o tipo de tipo de animal	87
Figura 25	- Emissões de GEE em tCO ₂ e por setor e tipo de GEE. Eixo Y quantidade de toneladas de CO ₂ e, eixo X fonte de emissão	82
Figura 26	- Emissões de GEE por tipo de setor. Eixo X setor de emissão e tipo de gás. Eixo Y quantidade das emissões de GEE em tCO ₂ e	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Principais poluentes atmosféricos	21
Tabela 2	- Inventários globais publicados no período de 1850 a 2010 pela rede <i>Emissions of Atmospheric Compounds and Compilation of Ancillary</i> (eccad)	29
Tabela 3	- Fontes e seus poluentes característicos respectivos	31
Tabela 4	- Potencial de Aquecimento Global (GWP) por tipo de GEE equivalente ao CO2...	45
Tabela 5	- Etapas da construção do inventário de emissão de gases de efeito estufa para o estado de alagoas	46
Tabela 6	- Apresentação das fontes que não foram mensuradas nestes inventários e seus respectivos motivos	47
Tabela 7	- Relação de fonte de emissão e fonte de coleta de dados, bem como a literatura consultada para avaliação de procedimentos a serem realizados	49
Tabela 8	Produção de carvão e madeira no Estado de Alagoas em 2019 segundo o IBGE em base de dados do ano de 2019	55
Tabela 9	Categorias de Veículos por tipo de combustível em Alagoas	57
Tabela 10	Número e tipo de veículos por tipo de combustível em Alagoas para 2019	58
Tabela 11	Quantitativo de produção agropecuária e reserva de floresta no Estado de Alagoas em 2019	62
Tabela 12	Emissões de GEE em toneladas advindos da agricultura por tipo de cultura e gás no Estado de Alagoas	81
Tabela 13	Comparação entre as emissões entéricas entre as estimativas deste inventário com as estimativas da SEEG	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRACICLO	Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares. Frota circulante
ACCMIP	<i>Emissions for Atmospheric Chemistry and Climate Modeling Intercomparison Project</i>
APA	Áreas de Proteção Ambiental
BRAVES	<i>Brazilian vehicular emission inventory software</i> – Sistema de Modelagem Integrada
C40	<i>Cities Climate Leadership Group</i>
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
C-FAR	<i>Carbon Footprint Assesment and Reduction Workbook</i>
CFCs	Clorofluorcarbonetos
CH4	Metano
CMAQ	<i>Community Multi-scale Air Quality</i>
CO	Monóxido de carbono
CO2	dióxido de carbono
COV	compostos orgânicos voláteis
COV's	Compostos orgânicos voláteis
DF	Distrito Federal
ECCAD	<i>Emissions of Atmospheric Compounds and Compilation of Ancillary</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária
EDGAR	<i>Emission Database for Global Atmospheric Research</i>
ESEC	Estações Ecológicas
EUA	Estados Unidos
EURADIM	<i>Modeling System European Air Pollution Dispersion – Inverse Model</i>
FGV	Fundação Getúlio Vargas
GEE	Gases de Efeito Estufa
GEIA	<i>Global Emissions InitiAtive</i>
GHG Protocol	Protocolo de Gases de Efeito Estufa
GPC	<i>Global Protocol for Community</i>
HC	Hidrocarbonetos totais
HCFCs	hidrofluorclorocarbonos
HCNM	Hidrocarbonetos não metano
HFCs	Hidrocarbonetos
HPA's	Hidrocarbonetos poliaromáticos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICLEI	<i>International Council for Local Environmental Initiatives</i>
IDH	Desenvolvimento Humano
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IEMA	Instituto de Energia e Meio Ambiente
IPCC	<i>Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories</i>
IPPC-AR7	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change – Fourth Assessment Report</i>
IU	Intensidade de uso
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MCTI	Ministério da Ciência Tecnológica e Inovação
MEGAN	<i>Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature</i>
MONA	Monumento Natural do Rio São Francisco
MID-Ohio	<i>Regional Palnning Comission</i>
MP	Material particulado
MtCO2e	Mega toneladas de dióxido de carbono equivalente
MTR	Ministério dos Transportes
N2O	óxido nitroso

NBR ISSO	Norma Brasileira de qualidade do ar
NEB	Nordeste do Brasil
NECAT	Núcleo de Estudos de Economia Catarinense
NMHC	hidrocarbonetos não metanos
NOX	Óxidos de nitrogênio
O3	Ozônio
OEF	<i>Organisation Environmental Footprint</i>
ONU	Organização Nações Unidas
PFCs	Perfluorocarbonos
PI	<i>Partículas inaláveis</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PM 2,5	Partículas Finas
PROCONVE	Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
PROMON AR	Programa de Monitoramento de Emissões em Fontes Fixas para a Atmosfera
PTS	Partículas totais em suspensão
RCPs	Representative Concentration Pathways
REBIO	Reservas Biológicas
RENAVAM	Registro Nacional de Veículos Automotores
RESEX	Reservas Extrativistas
RETRO	REanalysis of TROpospheric chemical composition over the past 40 years
RPPN	Reservas Particulares do Patrimônio Natural
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
SO2	Dióxido de enxofre
SOx	Óxidos de enxofre
SMOKE	<i>Sparse Matrix Operator Kernel Emissions</i>
tCO2e	Toneladas de dióxido de carbono Equivalente
Top-Down	de cima para baixo
UC	Unidades de Conservação
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
VAB	Valor Adicionado Bruto
WRI	<i>World Resources Institute</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo principal	17
1.1.2	Objetivos específicos	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	18
2.1.1	Métodos de monitoramento ou estimativa de concentração de poluentes	22
2.2	INVENTÁRIOS DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	24
2.2.1	Tipos de inventários e abordagens	27
2.2.2	Inventários de fontes fixas	34
2.2.3	Inventários de fontes móveis	35
2.2.4	Pesquisas recentes no Brasil sobre inventários de emissões atmosféricas	36
3	METODOLOGIA	41
3.1	ÁREA DE ESTUDO E SUA CARACTERIZAÇÃO	41
3.2	INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE FONTES DE GASES DE EFEITO ESTUFA	43
3.2.1	Procedimentos para os cálculos de Emissões de GEE	45
3.2.2	Emissões de GEE - Fontes de carvão e madeira	53
3.2.3	Emissões de GEE – Fontes móveis	55
3.2.4	Cálculo de emissões advindas de fontes de agricultura, pecuária, floresta	60
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	64
4.1	ENERGIA	64
4.1.1	Madeira e Resíduo de Madeira	64
4.1.2	Carvão	62
4.1.3	Energia nos Transporte	67
4.1.3.1	Emissões por tipo de veículos dos transportes rodoviários	69
4.1.3.2	Emissões por tipo de combustível usados nos transportes rodoviários	74
4.1.3.3	Emissões por tipo de Gases	76
4.2	AFOLU	76
4.2.1	Florestas das Unidades de Conservação	77
4.2.1.1	Estoque de carbono em CO2 por tipo de UC e Bioma	77
4.2.2	Emissões de GEE da Agricultura	80

4.2.2.1	Emissões de GEE da Agricultura desconsiderando a cultura do eucalipto	82
4.2.3	Emissão de GEE advindos da pecuária	84
4.3	SINTESE DAS EMISSÕES DE GEE POR SETOR NO ESTADO DE ALAGOAS	88
5	CONCLUSÕES	92
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização é uma das grandes tendências da sociedade contemporânea. Embora a preservação ambiental seja uma demanda global, ecossistemas vêm sendo destruídos em um curto espaço de tempo e de maneira crescente. Essa conjuntura gera o extermínio de diversas formas de vida, como resultado da intensa intervenção, que tem causado modificações no espaço urbano e rural, gerando paisagens ambientalmente degradadas (COHEN et al., 2017).

Até a metade do século XIX, somente 7% da população mundial vivia no perímetro urbano. Em 2020, estimou-se que 54% da população mundial vivia no perímetro urbano. Esse processo de intensificação de migração para urbanização encontra-se aliado à expansão do crescimento econômico, assim como do desenvolvimento das indústrias nacionais e internacionais (SABINO, 2021).

Essas transformações do espaço urbano geraram um intenso aumento no uso de combustíveis fósseis e não fósseis, bem como a demanda por produtos da agropecuária e industriais originando a elevação de uso de fontes de emissões de gases, as quais contribuem de maneira relevante no aumento da emissão de poluentes para a atmosfera. Nessa perspectiva, considerando que as partículas e gases tóxicos emitidos bem como os seus produtos de oxidação se configuram como uma ameaça direta ao meio ambiente e à saúde humana, o estudo da qualidade do ar se faz uma temática de grande relevância para a comunidade científica (WORLD ENERGY COUNCIL, 2016).

Cabe ainda ressaltar que a temática acerca do monitoramento da qualidade do ar se compreende como sendo um desafio para os cientistas e gestores públicos. Isso ocorre devido à dificuldade em identificar e analisar diferentes fontes de emissão de poluentes, o que torna necessário desenvolver e realizar a avaliação de processos de monitoramento, dispersão e contaminação, tornando factível o desenvolvimento de estratégias que sejam adequadas para o combate e controle da poluição atmosférica também em centros urbanos (INEA, 2012; VORMITTAG et al., 2021).

Os inventários de emissões podem ser entendidos como listas atualizadas e abrangentes de emissões atmosféricas originadas por uma fonte ou um conjunto de fontes que se localizam dentro de limites fixos de uma localidade ou área geográfica pré-determinada segundo um período de tempo. Sendo assim, um inventário de emissões possui dados sobre o tipo,

quantidade, localização assim como magnitude de fontes de poluição atmosférica (ZHOU et al., 2014).

Por meio de inventários de emissões torna-se possível realizar a identificação de fontes de emissão que predominam em uma determinada localização, sendo também possível identificar setores e os tipos de poluentes que contribuem com a deterioração da qualidade do ar em uma região. Além disso, os inventários de emissões são importantes instrumentos para o fomento de políticas públicas, uma vez que podem colaborar com a elaboração de projetos e programas que têm a finalidade de prevenir e controlar a poluição de uma localidade (LOBATO et al., 2021).

Portanto, os inventários de emissões podem ser utilizados no processo de análise de tendências anuais para redução ou aumento de poluentes e no monitoramento do progresso de metas nacionais e internacionais para redução de emissões (ZHOU et al., 2014). Diante dessa contextualização, essa pesquisa se justifica pelo seu potencial em contribuir com dados atualizados acerca do monitoramento da qualidade do ar para o Estado de Alagoas com a geração de instrumento capaz de enriquecer possíveis comparações metodológicas (estimativa por inventários, modelos químicos atmosféricos ou através de sensoriamento remoto).

Sendo assim, esse estudo será capaz de apresentar resultados relevantes no debate acerca de emissões de GEE, bem como servir de base para proposição de medidas para o enfrentamento da problemática climática a nível estadual e nacional. Nesse ínterim, a definição de estratégias de intervenção e políticas públicas que visem mitigar efeitos nocivos ao meio ambiente devido a exposição aos contaminantes atmosféricos decorre na necessidade de compreender suas características e dinâmica. Logo, a elaboração de um instrumento que forneça estimativas das emissões de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) advindos do uso da energia, atividades agrícolas, pecuária, bem como os estoques de CO₂ nas Unidades de Conservação (UC) para o Estado de Alagoas faz-se cientificamente, economicamente, socialmente e ambientalmente necessários.

Por esse motivo, esse estudo pretende ser capaz de quantificar as taxas de emissão, as fontes e os tipos de gases emitidos, identificar as fontes que mais emitem GEE em Alagoas e os estoques de CO₂ em cada UC através da elaboração de um inventário para o território alagoano para o ano de 2019; fornecendo um instrumento fundamental ao poder público e sociedade civil para poderem estabelecer ações regulatórias prioritárias. Além disso, esse estudo possibilitará inferir uma comparação entre as fontes de GEE e possibilidades de

comparação com outros trabalhos, percebendo a evolução nos padrões de emissões desses gases. Salienta-se que a elaboração de inventários não é um procedimento finito, devendo-se atualizar continuamente os dados obtidos para se acompanhar a evolução de esforços para redução de emissões de poluentes na atmosfera terrestre ao longo do tempo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo principal

Elaborar um inventário das emissões de gases de efeito estufa advindos do uso da madeira, carvão, transporte rodoviário, agricultura, pecuária e quantificar os estoques de CO₂ das Unidades de Conservação em Alagoas no ano de 2019.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Quantificar emissões de CO₂, CH₄ e N₂O nos setores e os estoques de CO₂;
- b) Analisar as principais fontes responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa no Estado de Alagoas em 2019.
- c) Mensurar os estoques de CO₂ das unidades de conservação;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A humanidade vem transformando o espaço natural ao longo da sua história na Terra para atender às suas demandas de sobrevivência e de consumo (SILVA, 2017). E quanto mais aprimorada a técnica e o desenvolvimento científico, mais permanente e ampliada é esta intervenção. O aumento populacional com o modelo de desenvolvimento econômico e as construções modernas, têm intensificado essas ações gerando resíduos sólidos que poluem o solo, cursos de água e a atmosfera (DANNI-OLIVEIRA, 2008; SILVA, 2017), todas estas ações, quando impensadas, gera significativas alterações nas condições ideais para a vida como a conhecemos.

Segundo Silva (2017), a atmosfera é um sistema dinâmico, sujeito a modificações em sua composição, em escala local ou global, por agentes naturais como as erupções vulcânicas e as queimadas naturais; e, como é consenso atualmente, por ações antrópicas. O que pode ter efeitos severos na mudança do clima da Terra, principalmente a longo prazo, sendo uma ameaça iminente com potencial irreversível.

Estudos apontam que as ações antrópicas na qualidade do ar podem ter sido iniciadas já com a descoberta do fogo, tornando-se mais claros com as grandes aglomerações, (BRASIL, 2021). Na Idade Média, já se tinha o entendimento de que a poluição causada pela humanidade causava doenças. Neste sentido, em 1272, o rei da Inglaterra determinou a redução da queima de carvão (DANNI-OLIVEIRA, 2008; BEHRENDT; 2014). Na revolução industrial, as discussões acerca dos impactos da poluição atmosférica ganharam-se maiores dimensões (MACHADO, 2005).

Segundo Danni-Oliveira (2008), a escassez da madeira intensificou o uso do carvão e outras fontes energéticas. Fatores como a geografia do lugar, a ausência de políticas de controle das emissões e a falta de preocupação com os impactos dos poluentes contribuíram para o surgimento de vários problemas locais relativos à poluição atmosférica (HELFAND; LAZARUS e THEERMAN, 2001; NEMERY; HOET e NEMMAR, 2001; MACHADO, 2005; MENDES, 2004; DANNI-OLIVEIRA, 2008; ZHANG, LIU e LI, 2014; SILVA, 2017).

Segundo Mendes (2004), foi em 1950, na Califórnia-EUA, que pesquisas mostraram as primeiras evidências científicas, de que os veículos automotivos representavam uma significativa fonte de poluição do ar. Em países, principalmente desenvolvidos, esses eventos

críticos de poluição do ar que levaram pessoas à morte levaram vários países a repensarem a maneira de lidar com as emissões de poluentes no ar. Fizeram o estabelecimento de leis rígidas e financiamento de pesquisas para desenvolvimento de contenção e compensação eficientes (MENDES 2004); bem como seus impactos principalmente nas mudanças climáticas, aquecimento do planeta (MENDES 2004; SILVA 2017).

Diante desta realidade, foram realizadas várias conferências ambientais em que líderes de diversos países debateram questões relacionadas à preservação do meio ambiente. Conferências como a de Estocolmo, capital da Suécia, em 1972 (CAMPOS, 2001), a conferência das Nações Unidas (ONU) em 1992, a ECO-92, a Conferência das Partes I (COP-1) em Berlim em 1995, a COP-2 em Genebra em 1996, a COP-3 em 1997 (MACHADO, 2005). Esta COP3 apresentou um tratado complementar à Convenção-Tabela que estabeleceu metas que reduzissem a emissão de gases de Efeito Estufa (GEE), definindo compromissos rigorosos acerca do aquecimento global, entrando em vigor em 2005 com a confirmação de 55 países (DINIZ, 2016). Outras conferências ocorreram como a Rio+10 e a Rio+20, realizada pela ONU no Rio de Janeiro, Brasil (LYRA, 2008). E na conferência de Paris, em 2015, foi adotado um acordo com o objetivo de fortalecer a resposta global à ameaça da mudança climática onde o compromisso ocorreu no sentido de manter o aumento da temperatura média global em bem menos que 2 °C acima dos níveis pré-industriais onde foi aprovado por 195 países Partes da UNFCCC para reduzir as emissões de GEE (BRASIL, 2024).

A compreensão do conceito de poluição atmosférica nesta pesquisa abarca uma síntese das amplitudes e especificidades com base em diferentes pesquisadores no tempo e no espaço. Sendo assim, entende-se, aqui, a poluição atmosférica como a alteração da qualidade original da atmosfera por atividades humanas ou naturais (CAVALCANTI, 2010) esta alteração, a partir de uma introdução direta ou indireta e em quantidades, intensidades ou concentração suficiente para interferir em seu equilíbrio e composição, pode ser de suas propriedades físicas, químicas ou biológicas que cause danos reais ou potenciais para a saúde humana, para a flora, ou à fauna, aos ecossistemas em geral, podendo ser aos materiais e a propriedade, ou afetar as atividades normais da população ou o seu bem estar, mas levando em consideração, não apenas a introdução de matéria, como também, a qualquer forma de energia capaz de causar efeitos nocivos (AZUAGA, 2000; BRASIL, 2021).

Segundo Cavalcanti (2010), alguns autores também apontam como possibilidade, a poluição, da alteração por meio da redução de determinadas propriedades da atmosfera. Esta poluição atmosférica também possuindo características que crie condições adversas para as

atividades socioeconômicas, que afete desfavorecendo a biota e as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente, ou lancem matéria ou energia alterando padrões estabelecidos como também é entendido na lei de agosto de 1981, art. 3º, da Política Nacional do Meio Ambiente do Brasil.

Em forma de matéria os poluentes atmosféricos podem ser classificados, tendo como parâmetro o estado físico que seriam os materiais particulados e os gases e vapores. O primeiro como sendo partículas sólidas ou líquidas, a exemplo, poeiras, fumos, fumaças e névoas. Já o segundo, são os que ficam em sua forma molecular, gases permanentes, a exemplo, dióxido de enxofre, monóxido de carbono, o ozônio, óxido nitroso, como forma transitória de vapor ou orgânicos em geral (CAVALCANTI, 2010).

Se for levado em consideração a origem, os efluentes atmosféricos são divididos em duas classes: os poluentes primários que são aqueles emitidos diretamente das fontes na atmosfera, e os secundários que são formados das reações entre os efluentes e/ou com compostos da baixa atmosfera que são geralmente catalisados pela reação solar (reações fotoquímicas), ou ainda com a participação de constituintes da atmosfera (CAVALCANTI 2010; SILVA, 2017). Os poluentes também podem ser classificados em orgânicos e inorgânicos numa visão química, entre outras subclassificações como as que causam odores ou não (CAVALCANTI 2010).

Os principais poluentes que determinam a qualidade do ar são definidos pelo grupo por sua frequência ou por seus efeitos adversos que causam ao ambiente. Estes poluentes atmosféricos se originam, principalmente, da combustão incompleta de combustíveis fósseis, que são utilizados nos meios de transportes, aquecimento e produção industrial. Cavalcanti (2010) e Silva (2017) elencam os principais poluentes e universalmente consagrados como indicadores mais abrangentes da qualidade do ar, realizando uma síntese encontramos os seguintes poluentes na tabela 1.

Segundo Silva (2017), o dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, o ozônio e o vapor de água são gases de efeito estufa (GEE) que existem naturalmente na atmosfera, sendo essenciais para a manutenção da vida. Porém, as atividades humanas têm alterado a concentração desses gases na atmosfera. Além disto, passou-se a emitir gases de efeito estufa que são produzidos apenas pelo homem como os clorofluorcarbonetos (CFCs), os hidrofluorcarbonos (HFCs), o hidrofluorclorocarbonos (HCFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (HFCs). Por sua vez, o óxido nitroso (N₂O) é produzido por processos

biológicos que acontece no solo e na água e por uma variedade de atividades antropogênicas nos campos agrícola, energéticos, industrial e de gestão (DINIZ, 2016; SILVA, 2017)

Tabela 1 – Principais poluentes atmosféricos

Poluente	Abreviação	Principais fontes de emissão
Dióxido de carbono	CO ₂	Queima de combustíveis fósseis como carvão mineral, o gás natural e o petróleo; O desmatamento; atividades industriais como a produção de cimento.
Monóxido de carbono	CO	Combustão incompleta de materiais que contenham carbono, como derivados de petróleo e carvão.
Óxidos de nitrogênio	NO _x	Queima de combustíveis em altas temperaturas em veículos, aviões, fornos e incineradores.
Dióxido de enxofre	SO ₂	Queima de combustíveis fósseis que contenham enxofre, como óleo combustível, carvão mineral e óleo diesel.
Materiais particulados	MP	São partículas pequenas sólidas ou gotículas líquidas que resultam da queima incompleta de combustíveis, seus aditivos, dos processos industriais, e desgastes dos pneus e freios.
Compostos orgânicos voláteis	COV's	São liberados por materiais sintéticos usados em acabamentos de casas: aditivos de pintura, vernizes, solventes de tintas. Em materiais decorativos e nos produtos de limpeza seca
Hidrocarbonetos poliaromáticos	HPA's	exaustão veicular, fontes de aquecimento industrial e residencial, processamento de carvão, petróleo bruto e gás natural, incineração de lixo e fumaça de tabaco.
Partículas totais em suspensão.	PTS	Combustão incompleta originada da indústria, motores à combustão, queimadas e poeiras diversas.
Partículas inaláveis	PI	Vêm da combustão descontrolada e da dispersão mecânica do solo ou outros materiais da crosta terrestre que tenham silício, titânio, alumínio, ferro, sódio, cloro.
Ozônio	O ₃	Não é um poluente emitido diretamente pelas fontes, mas formado na atmosfera através da reação entre os compostos orgânicos voláteis e óxidos de nitrogênio em presença de luz solar.
Hidrocarbonetos totais	HC	queima de combustíveis fósseis, queima de biomassa vegetal, emissões de amônia na agricultura e emissões decorrentes de obras e pavimentação de vias.
Partículas Finas	PM 2,5	Resultantes dos processos de combustão, de fontes móveis ou estacionárias.

Fonte: Adaptado de Cavalcanti (2010) e Silva (2017).

As fontes de emissões de poluentes advindos das atividades antrópicas são divididas basicamente em duas classes: fontes móveis e estacionárias. As principais fontes estacionárias móveis são os veículos automotores, a exemplo temos os carros, caminhões, tratores e outros. Já as fontes estacionárias podem ser representadas por aquelas que advêm de processos nas

industriais como as chaminés de caldeiras, fornos, termoelétricas e sistemas de exaustão (WANG et al., 2013).

2.1.1 Métodos de monitoramento ou estimativa de concentração de poluentes

O monitoramento da poluição do ar compreende medir a poluição em escalas de tempo e espaço. Dessa maneira, uma vez que sejam identificados os poluentes prioritários, os equipamentos de medição devem ser adequados e capazes de se garantir que os dados gerados sejam correspondentes aos objetivos do monitoramento, principalmente quando esses dados forem comparados aos padrões vigentes para a qualidade do ar (MORAIS et al., 2010).

A análise e o acompanhamento da qualidade do ar em uma região podem-se relacionar diretamente com a obtenção de informações confiáveis e representativas de redes amplas e uniformes, possibilitando realizar comparações com os padrões vigentes (LYRA, 2008). As estações de monitoramento da qualidade do ar têm a responsabilidade de gerar dados confiáveis sobre a qualidade do ar, bem como sua composição (MORAIS et al., 2010).

Todavia, em sua grande maioria, equipamentos, técnicas e métodos que avaliam a qualidade do ar possuem alto custo de implantação e manutenção, requerendo recursos estruturais e econômico-financeiros para o seu devido funcionamento contínuo em boas condições operacionais (JACOMINO et al., 2009).

Os equipamentos medidores de poluição do ar podem ser categorizados como amostradores passivos, amostradores ativos, analisadores automáticos e sensores remotos. Esses equipamentos são os tipos comumente utilizados pois cobrem uma larga faixa de termos e possuem boa performance, todavia, devem ser escolhidos cuidadosamente (FRONDIZI, 2008).

No Brasil, dez Estados¹ e o Distrito Federal (DF) possuem redes de monitoramento da qualidade do ar conforme dados do Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA). Estas redes possuem características específicas à sua realidade ambiental e climática. Estas características são dependentes de fatores como a finalidade do monitoramento, potencial de investimento, recursos estruturais, manutenção bem como modelo de gestão. Demais características podem

¹ Estados de Ceará, Pernambuco, Bahia, Goiás, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul são os Estados que possuem pelo menos uma estação de monitoramento da qualidade do ar (IEMA, 2022).

ainda conferir atribuições específicas a esses estabelecimentos, tais como território, equipamentos, técnicas e métodos utilizados (IEMA, 2022).

O monitoramento manual não torna possível realizar a avaliação da variabilidade espacial, considerando-se que uma pequena densidade da rede de monitoramento e sua característica heterogênea pode se concentrar em localidades com grande densidade populacional, tal como os centros urbanos (LACAVA, 2001). Nesses casos, deve-se utilizar metodologias alternativas, as quais se fazem necessárias em função de suas capacidades de superar possíveis limitações da rede de monitoramento da qualidade do ar.

Por essa razão, novas ferramentas estão sendo utilizadas e desenvolvidas nesse ramo, com o principal objetivo de se construir um sistema de dados acerca da qualidade do ar integrado no território nacional. Nesse sentido, a construção de sistemas da qualidade do ar poderia reduzir custos de operações destes estabelecimentos para o poder público, assim como auxiliaria na superação de limitações e dificuldades existentes nestes sistemas (VENTURA et al., 2021).

Entre as novas tecnologias para monitoramento e controle da qualidade do ar em desenvolvimento, destacam-se também os métodos de sensoriamento remoto por satélites (VENTURA et al., 2021), sensores móveis (AMORIM, 2019), *Machine Learning* (NANDINI; FÁTHIMA, 2019), Inteligência Artificial (DU et al., 2019); Utilização de Megadados (JUDD et al., 2020), Utilização de Redes Neurais Artificiais (DEPINÉ et al., 2014), Modelagem Química e Reconstrução de Séries Históricas (VIGOUROUX et al., 2020).

Dos métodos supracitados, o sensoriamento remoto por satélites tem sido um dos mais utilizado (AMORIM, 2019; VENTURA et al., 2021) em função da sua alta cobertura geográfica e boa relação custo-benefício quando comparado a outras tecnologias existentes para aquisição de dados, sendo um método utilizado para se analisar os níveis de poluição e seu potencial efeito na sociedade (MARIANELLI; SILVA, 2008), sendo a principal alternativa aplicada para análise da poluição atmosférica (ARAÚJO, 2019).

O uso de dados oriundos do sensoriamento remoto para monitoramento e análise da qualidade do ar se configura como uma abordagem ainda incipiente no Brasil em função da distribuição das estações de monitoramento no país. Entretanto, este método pode ser de grande contribuição, embora possua elevado custo de implantação assim como manutenção das estações de monitoramento (VENTURA et al., 2021).

Embora tenha ocorrido crescimento da utilização de sensoriamento utilizando-se satélites para se avaliar a poluição atmosférica e da qualidade do ar em países da América do Norte e Europa, a utilização destas tecnologias no Brasil ainda é muito incipiente, sendo principalmente utilizadas na avaliação de danos ambientais perante graves acidentes ambientais e não necessariamente para se monitorar a qualidade do ar (ARAÚJO, 2019; OLIVEIRA, 2019).

2.2 INVENTÁRIOS DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

De acordo com a Fundação Getúlio Vargas (FGV, 2022) o inventário de emissões é definido como fator de fundamental importância para organizações, economias, cidades, estados e países. Inventários são capazes de determinar e inferir dados acerca de fontes de GEE em suas atividades, quantificando as emissões de GEE lançados na atmosfera. O inventário configura-se, nesse contexto, como um instrumento sistemático e padronizado que trata sobre a qualidade do ar (FGV, 2009).

Um inventário de GEE também pode ser conceituado como o processo de compilação de dados referentes às emissões e das remoções de GEE, sendo esses dados essencialmente quali-quantitativos coletados a partir de fontes e sumidouros antrópicos, elaborados em conformidade com o método previamente escolhido e relatado por uma entidade (podendo esta ser uma Nação, um Estado, um Município ou organização) de acordo com um intervalo de tempo e abrangência anteriormente delimitados (ALMEIDA, 2011).

A definição de um inventário compreende um conjunto de etapas, as quais devem ser seguidas para que se possa elaborar um inventário confiável e sistematizado (D'AVIGNON et al., 2010). Um inventário deve ser formado a partir da identificação das fontes de emissão de GEE e outras fontes de carbono ou conforme o objetivo de análise do(s) gás(es) a ser(em) analisado(s) em uma localidade pré-definida; seguida pela escolha do método adequado à necessidade local bem como aos fatores operacionais; coleta dos dados bem como determinação de fatores de emissão; utilização de metodologias de cálculo e por fim registro dos dados. Conforme disserta Pinho (2009, p. 22):

A concepção do inventário compreende as etapas: identificação das fontes de emissão de GEE; escolha da metodologia apropriada para o cálculo; coleta dos dados de

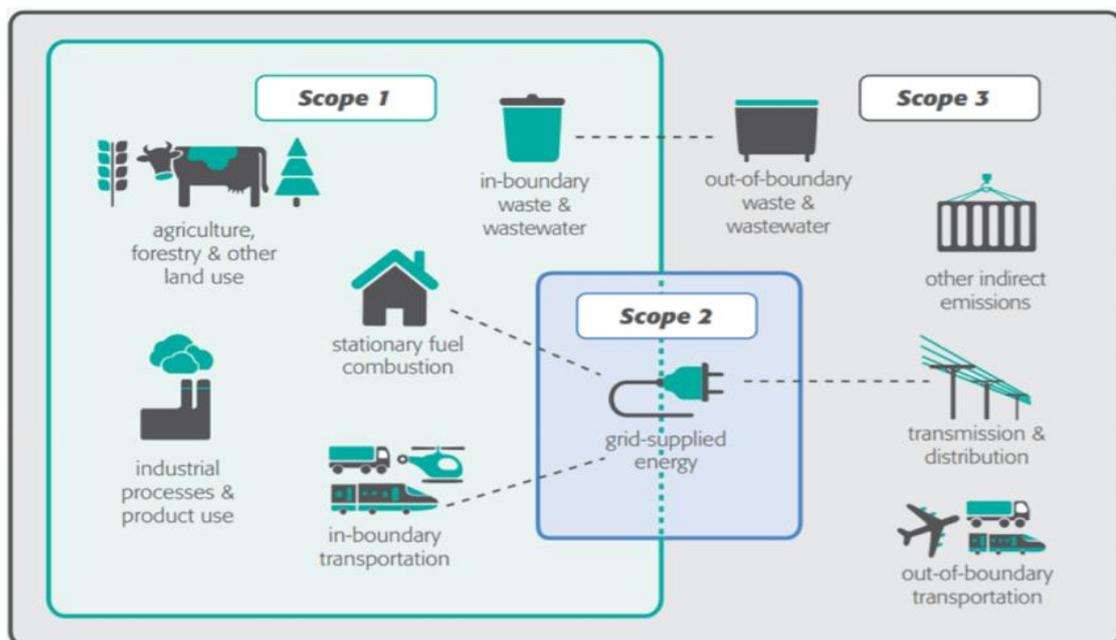
atividade e seleção dos fatores de emissão; aplicação das metodologias de cálculo; e registro dos dados.

Na primeira etapa, a qual corresponde a identificação das fontes de emissão de GEE, deve-se dispor de um registro que seja preciso no registro das fontes de emissão, classificando-se e categorizando-se estas fontes. Na etapa seguinte tem-se a classificação das fontes de emissão de GEE, na qual deve-se classificar as fontes de poluição como indiretas ou diretas, dividindo-as de acordo com escopos classificados como I, II e III. Esta classificação pode ser baseada em definições como o GHG Protocol e por meio de normatizações como a ABNT NBR ISO14.064-1 (SILVA, 2017).

Em síntese, o escopo I em um inventário é relacionado às emissões diretas originadas de fontes pertencentes ou controladas por uma entidade; o escopo II refere-se aos GEE emitidos por organizações responsáveis pelo fornecimento de recursos energéticos; o escopo III refere-se a outras formas de emissões indiretas advindas de fontes não controladas pela organização inventariante, compreendendo as emissões referentes a uma cadeia de valor (SILVA, 2017).

A Figura 1, apresentada a seguir, exemplifica a caracterização dos Escopos I, II e III de acordo com o GHG Protocol no documento “*GHG Protocol for cities*” (WRI, 2017).

Figura 1 – Exemplificação de escopos I, II e III



FONTE: World Resources Institute et al., (2014).

Silva (2017), propõe uma classificação de emissões de acordo com o GHG Protocol e a norma ABNT NBR ISO14.064-1. Segundo o GHG Protocol, emissão direta compreende o escopo I de análise, definido como a emissão direta oriunda de fontes de emissão de propriedade ou controle operacional de uma organização.

A emissão direta é classificada como escopo II, definida como poluentes que se originam de eletricidade, calor ou vapor consumido por estabelecimentos; podendo também ser classificada como emissão indireta. No escopo III tem-se a consequência de atividades do estabelecimento e/ou entidade responsável pela emissão, todavia, não é de sua propriedade ou controle operacional (SILVA, 2017).

Por outro lado, de acordo com a ABNT NBR ISO14.064-1, emissão direta de GEE é definida quando a fonte emissão do GEE é pertencente ou controlada por uma entidade (empresa, pessoa, poder público); emissão indireta de GEE associada ao uso de energia, quando a emissão de GEE se dá por razão de geração de eletricidade, valor que são pela entidade geradora para seu consumo e a terceira classificação refere-se às emissões indiretas de GEE relacionadas à energia gerada de maneira consequente de atividades de uma entidade, todavia oriundas de fontes que são de posse ou controlados por terceiros (SILVA, 2017).

Silva (2017) ainda interpreta estas duas classificações como iguais, todavia, estas utilizam termos e definições de maneiras diferentes. O inventário de emissões atmosféricas de GEE é formado por uma pesquisa que apresenta a quantidade de GEE oriundos das diversas fontes existentes. Estas fontes entram na atmosfera em um determinado intervalo de tempo, assim como em uma determinada localidade ou área definida com base em fronteiras fixas. Desta maneira, essas fontes podem fornecer informações do emissor, caracterização do emissor, localidade da emissão, período e quantidade de emissão (ALMEIDA, 2011).

Ante ao exposto, o inventário é um instrumento de importância estratégica no processo de tomada de decisões e medidas acerca da mitigação das mudanças climáticas. Esse instrumento tem a capacidade de subsidiar a implantação de políticas públicas gerenciais para o combate às mudanças climáticas, visto que determinam em caráter quali-quantitativo as emissões atmosféricas dos GEE (ALMEIDA, 2011). Salienta-se que independentemente da escala, a qual pode ser global, regional ou local, inventários se configuram como instrumentos confiáveis e relevantes no processo de análise da qualidade do ar (DUBEUX, 2007).

De acordo com a *International Plant Protection Convention (IPPC, 2022)* a elaboração de inventários de GEE devem respeitar as diretrizes já estabelecidas na atualidade. Esses

procedimentos devem ser sistematicamente aplicados na elaboração e produção de inventários. Todavia, a uniformização e o aperfeiçoamento de métodos de produção de inventários são constantemente explorados na literatura.

Dentre esses procedimentos, destaca-se que o *World Resources Institute* (WRI) realizou, no ano de 2014, em conjunto com o evento *Cities Climate Leadership Group* (C40) e o *International Council for Local Environmental Initiatives* (ICLEI) o *Global Protocol for Community* (GPC), definido como um protocolo que objetifica padronizar a elaboração de inventários de GEE para escalas locais (FONG, 2014).

No âmbito nacional, destaca-se a norma NBR ISO 14064/2007 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a qual apresenta as especificações, princípios bem como os requisitos quanto a organização para a quantificação e para a elaboração de relatórios de emissões e remoções de GEE. Essa NBR assumiu, no contexto nacional, relevância, uma vez que incluiu determinações para o projeto, desenvolvimento, gerenciamento, elaboração de documentos e verificação de inventários de GEE de forma sistemática (ABNT, 2007).

No Brasil, embora a elaboração do inventário seja em sua maioria de caráter voluntário, sua realização se configura como uma prática bem vista pelas instituições, órgãos e governos, visto que se configura como uma atividade produtiva e compatível com regulamentos e recomendações internacionais regulatórias. Em Estados como os de Ceará, Pernambuco, Bahia, Goiás, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul, a apresentação de inventário de GEE tem sido apontada como pré-requisito para liberação de processos de licenciamento ambiental, destacando-se o setor industrial (IEMA, 2022).

2.2.1 Tipos de inventários e abordagens

A literatura apresenta diferentes metodologias capazes de calcular, sistematizar, relatar e mapear como se dá a emissão de GEE na atmosfera, configurando-se como métodos consistentes e confiáveis, com dados estimados que podem ser aplicados para a reavaliação de condutas de governos, empresas e sociedade como um todo (CHAN, 2006). Um inventário de emissões de GEE na atmosfera, quando adequadamente bem elaborado pode ser considerada uma ferramenta de finalidades múltiplas e de influência para a tomada de decisões corporativas e políticas, orientando a sociedade civil e todas as partes interessadas no enfrentamento das questões climáticas (CHAN, 2006).

O primeiro método desse cálculo foi desenvolvido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPPC) para preparar listas nacionais de países desenvolvidos que são signatários da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC), um acordo estabelecido em 1992 pela Organização das Nações Unidas Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro; assim conhecida como Rio 92 (IPPC, 2006).

A metodologia conhecida como Diretrizes do IPPC para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa - publicada pela primeira vez em 1994 e atualizada em 1996 e 2006 - ainda é a principal referência para a compilação dos inventários. No entanto, outros métodos de cálculo parecem melhorá-lo ou torná-lo mais adequado a outros contextos menores, como inventários locais (ALVES, 2015).

De modo geral, os inventários podem ser de três tipos: nacionais, corporativos e locais. Os inventários locais inferem dados acerca das emissões de unidades regionais, como cidades e estados, permitindo-se obter um conhecimento mais detalhado não só das emissões estaduais e municipais propriamente ditas, mas também das nacionais, para onde convergem (ALVES, 2015). Especialmente os centros urbanos são locais de concentração de pessoas que demandam o desenvolvimento de atividades que atendam às suas necessidades e desejos. (CROCI et al., 2011).

Segundo Alonso (2014), citando OLIVIER; BERDOWSKI (2001), com relação às emissões antrópicas, compreendendo as emissões urbanas e industriais, são destacados principalmente dois inventários globais utilizados habitualmente como modelos numéricos de transporte e química de larga escala, são eles o inventário RETRO (*REanalysis of TROpospheric chemical composition over the past 40 years*) e EDGAR (*Emission Database for Global Atmospheric Research*). A tabela 2 apresenta a compilação dos principais inventários globais apresentados na literatura segundo Alonso et al. (2014).

O RETRO é um inventário global que se encontra disponível com dados entre o período do ano de 1960 até o ano de 2000, com resolução temporal mensal e resolução espacial de 0,5 graus. Por sua vez, EDGAR se origina das emissões globais anuais com ano base do ano 2000. Esses inventários foram elaborados a partir de dados nacionais de organizações como a *International Energy Agency* (IEA), no entanto, apresentam diferenças metodológicas importantes, tais como diferentes referentes a estimativa dos fatores de emissão e a classificação/distribuição das fontes (Alonso et al., 2014).

Tabela 2 – Inventários globais publicados no período de 1850 a 2010 pela rede *Emissions of Atmospheric Compounds and Compilation of Ancillary* (eccad)

Base de dados (ano)	Período	Variabilidade temporal	Poluentes* / Tipo de fonte
AMIP (2010)	1850-2000	Década	OC, CH ₄ , CO, NO _x , NMHC, SO ₂ , NH ₃
MACCity (2010)	1990-2010	Anual	OC, CH ₄ , CO, NO _x , NMHC, SO ₂ , NH ₃
EDGAR V3.2/V4.2 2000	2005	Anual	OC, CH ₄ , CO, NO _x , NMHC, SO ₂ , NH ₃ , MP ₁₀
RETRO (2005)	1960 - 2000	Mensal	CH ₄ , CO, NO _x , SO ₂ , NH ₃ , MP ₁₀ , MP ₂₅
Junker – Liousse (2008)	1860–1945 1946–2003	Década Anual	OC, BC Antrópico
GFED3 (2010)	1997 - 2010	Mensal	CH ₄ , CO, NO _x , NMHC, M ₁₀ , SO ₂ , NH ₃ , MP ₂₅ Queima de biomassa
GICC (2010)	1900 - 2005	Década Mensal	OC, CH ₄ , CO, NO _x , SO ₂ , NH ₃
GEIAv1 (2005)	1984 - 1990	Anual Mensal	OC, NO _x , SO ₂ Antrópico, queima de biomassa e natural
MEGAN (2006)	2000	Mensal	CO, CH ₄ Natural

Em que: Monóxido de carbono (CO); metano (CH₄); óxidos de nitrogênio (NO_x); não metano hidrocarbonetos (NMHC); dióxido de enxofre (SO₂); amônia (NH₃); carbono orgânico (OC); carbono grafite (BC); Material particulado de 2.5 µm (MP₂₅) e 10 µm (MP₁₀).

Fonte: Retirado de Alonso et al. (2014, p. 16-17).

A resolução espacial desses inventários globais de emissões costuma ser baixa e, portanto, não conseguem capturar as características específicas das emissões por região, temporal e espacialmente, principalmente em relação à representação dos centros urbanos (ALVES, 2015).

Rennó et al. (2011) verificou as emissões individuais estimadas para importantes megacidades globais em inventários globais como o RETRO, EDGAR e IPPC-AR7 (*Intergovernmental Panel on Climate Change – Fourth Assessment Report*) possuem variações estatisticamente muito significativas no que tange a distribuição geográfica assim como a magnitude em função dos métodos utilizados serem diferenciados entre si.

Por outro lado, nas últimas décadas tem se investido na construção e elaboração de novos cenários de emissões de GEE com o objetivo de suprir a demanda de transição energética mundial (MOSS et al., 2010). As bases de dados ACCMIP (*Emissions for Atmospheric Chemistry and Climate Modeling Intercomparison Project*) possuem dados globais referentes ao histórico antrópico e de queima de biomassa com base na combinação de inventários globais e regionais divulgados por Estados e Nações (ALONSO et al., 2014).

Os inventários *Representative Concentration Pathways* (RCPs) apresentam uma vasta lista de possibilidades de cenários com diferentes fatores associados (VAN VUUREN et al., 2011) e utilizam-se de resolução temporal segundo as décadas para avaliar emissões antrópicas e mensal para avaliar as queimas de biomassa para os períodos com previsão de ser analisado até o ano de 2100 (ALONSO et al., 2014).

Os inventários MACCity e PEGASUS (*Pan-European Gas Aerosols-Climate Interaction Study Atmospheric Chemistry and Climate Change Interactions*) são compreendidos como inventários de extensões das bases de dados ACCMIP e RCPs. O MACCity refere-se ao período de 1990 até o ano de 2010 e o segundo analisa dados históricos de emissão com cenários RCPs se estendendo até o ano de 2010 (ALONSO et al., 2014).

Alonso (2014) escreve que, segundo Guenther (2006), além das emissões supracitadas, emissões globais biogênicas (de ocorrência natural) podem ser analisadas por meio do inventário global MEGAN, definido como um sistema de modelagem matemática que tem por finalidade estimar a emissão líquida, assim como de ecossistemas terrestres, de gases e aerossóis que se fazem naturalmente presentes na atmosfera. O programa *Global Emissions Initiative* (GEIA), configura-se como um sistema de troca de dados sobre emissões bem como sobre a capacidade para elaboração de novos inventários no futuro.

De acordo com Brander (2015) existem pelo menos cinco metodologias confiáveis para a contabilização de GEE, as quais possuem algumas características específicas: O *Greenhouse Gas Protocol- A Corporate Accounting and Reporting Standard* (WRI; WBCSD, 2004); *Greenhouse Gas Protocol: Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard* (WRI; WBCSD, 2011); a ISO 14064-1:2006 (ABNT, 2007); a ISO 14069:2013 (ABNT, 2015); *Organisation Environmental Footprint* (OEF) (EUROPEAN COMMISSION, 2013); mencionando também o IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Metodologias desenvolvidas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas* (IPCC). Primeiramente, tem-se que estas metodologias se utilizam ou se configuram em escopos de emissões para perfazer os inventários de emissões de GEE na atmosfera. Esses GEE, por sua vez, são quantificados em inventários a partir de três escopos como comentado anteriormente.

Cabe destacar que a correta caracterização da poluição demanda o aprofundado e detalhado conhecimento de suas fontes geradoras. Nesse aspecto, espera-se um certo nível de especificidade, sendo este a principal característica capaz de definir um inventário, igualmente sendo capaz de ser a causa de incertezas quanto a confiabilidade de um inventário. A

contribuição relativa de cada fonte de emissão segundo um determinado poluente primário, em um contexto geográfico definido, compreende um processo complexo de levantamento e análise de diversos fatores (ALONSO et al., 2014).

O desenvolvimento de inventários locais de emissões é de extrema importância para o entendimento da qualidade do ar urbano e é fundamental para a modelagem de dispersão numérica e química dos poluentes. Para a indústria, as emissões podem ser inventariadas em três níveis de detalhe: Nível do local, relativo a uma atividade industrial que pode incluir várias atividades de emissões; Nível de Ponto, medições diretas de chaminés, canais, ventos ou outras fontes de emissão, e Nível de Processo, unidade de exploração de uma categoria de fonte específica (BRANDER, 2015). A tabela 3 a seguir apresenta a classificação das fontes descritas assim como caracteriza os principais poluentes originados.

Tabela 3 – Fontes e seus poluentes característicos respectivos

FONTES		POLUENTES
CLASSIFICAÇÃO	TIPO	
FONTES ESTACIONÁRIAS	COMBUSTÃO	<ul style="list-style-type: none"> ● Material particulado ● Dióxido de enxofre e trióxido de enxofre ● Monóxido de carbono ● Hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio
	INDUSTRIAL	<ul style="list-style-type: none"> ● Material particulado ● Gases SO₂, SO₃, HCl e hidrocarbonetos ● Mercaptans, HF, H₂S, NO_x
	COMBUSTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	<ul style="list-style-type: none"> ● Material particulado ● Gases SO₂, SO₃, HCl, NO_x
	OUTROS	<ul style="list-style-type: none"> ● Hidrocarbonetos, material particulado
FONTES MÓVEIS	VEÍCULOS AUTOMÓVEIS	<ul style="list-style-type: none"> ● Material particulado, monóxido de carbono ● Óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio ● Ácidos orgânicos, hidrocarbonetos e óxidos de enxofre
	AVIÕES	<ul style="list-style-type: none"> ● Óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio
	BARCOS	<ul style="list-style-type: none"> ● Óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio
	LOCOMOTIVAS	<ul style="list-style-type: none"> ● Ácidos orgânicos, hidrocarbonetos e aldeídos
	OUTROS	<ul style="list-style-type: none"> ● Hidrocarbonetos, material particulado
FONTES NATURAIS		<ul style="list-style-type: none"> ● Material particulado ● Gases SO₂, SO₃, HCl, NO_x, hidrocarbonetos
REAÇÕES QUÍMICAS		<ul style="list-style-type: none"> ● Poluentes secundários: O₃, aldeídos ● Ácidos orgânicos e nitratos orgânicos ● Aerossol fotoquímico

FONTE: Retirado de Pires (2005, p. 11).

Normalmente, classificam-se diferentes tipos de fontes de emissões. As fontes pontuais, são identificadas em caráter individual, a exemplo das chaminés, que são compreendidas como

objetos geométricos pontuais, dispondo de parâmetros termodinâmicos e dinâmicos específicos. Essa ponte pontual possui característica específica com relação a sua capacidade de emissão de uma pluma, sendo importante a análise de parâmetros como a velocidade de vazão e temperatura da chaminé (NUNES et al., 2014).

As fontes linhas são correspondentes às vias de comunicação, a exemplo de rodovias, sendo utilizadas para a representação de efeitos das fontes móveis. Além destas, tem-se as fontes áreas que são utilizadas para a representação da agregação de todas as fontes que não às pontuais e linhas, tais como os parques florestais, os quais são representados por polígonos (ALONSO et al., 2014).

Na literatura, identifica-se duas principais abordagens utilizadas no desenvolvimento de inventários, são elas a “de cima para baixo” (Top-Down) e a “de baixo para cima” (Bottom-Up). A abordagem Top-Down leva em consideração a estimativa de emissões com base em dados nacionais ou regionais, tendo a principal função ou relação com a finalidade de cálculo como sendo conhecido (ALMEIDA, 2011; CARVALHO, 2019). Utiliza-se de medidas indiretas e diretas que se referem ao nível de atividade de uma determinada região, citando o uso de dados de venda, empregabilidade ou fatores de emissão de GEE na atmosfera per capita (ALMEIDA, 2011). Alguns exemplos são verificados no Brasil, como o primeiro inventário a nível nacional criado, denominado Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (MCT, 2006) assim como o cálculo do balanço de carbono sobre o Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2021). Ela é amplamente aplicada para estimar emissões em fontes áreas em situações que os dados locais não se encontram disponíveis, o que implica que esta abordagem possui uma desvantagem no que tange a exatidão dos dados específicos. Como principal vantagem, o Top-Down requer recursos mínimos para a compilação de dados (PIRES, 2005).

Já o método Bottom-Up é aplicado para estimar emissões de fontes pontuais. Entretanto, também pode ser utilizado para fontes áreas devendo-se, nesse caso, ter acesso aos dados específicos requeridos por esta abordagem. Esse método implica em uma maior utilização de recursos para coleta de dados locais e, sendo assim, tem como resultado estimativas que são mais representativas e exatas quando comparado ao método Top-Down (ALMEIDA, 2011). Esse fato pode ser analisado por meio da análise de casos de fontes móveis, a exemplo de emissões de GEE na atmosfera provindos de veículos, no qual se consideram os dados referentes a frota veicular, tráfego bem como configuração de vias rodoviárias. Ademais, os

fatores de emissão são totalmente dependentes do padrão de condução do veículo, aspecto que se apresenta com alta variação em função de características locais (BERKOWICZ et al., 2006).

Almeida (2011) diferencia o Bottom-Up como sendo a abordagem fundamentada no cálculo de emissões de GEE na atmosfera através do estudo de fontes individuais, de maneira que a soma de todas estas fontes provém de estimativas relacionadas a fontes locais e estaduais. Estas emissões seriam calculadas individualmente para cada tipologia de fonte, sendo assim, a abordagem Bottom-Up apresentaria a desvantagem de maior necessidade de recursos financeiros e operacionais, embora obtenha resultados estimativos de emissões mais exatos do que na primeira abordagem (ALMEIDA, 2011).

Dentre as diversas metodologias existentes para elaboração de inventários de gases de efeito estufa, o GHG Protocol é a ferramenta mais utilizada mundialmente por empresas e governos para compreender, quantificar e gerenciar suas emissões. A ferramenta foi desenvolvida pelo WRI (*World Resources Institute*) em colaboração com o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (*World Business Council for Sustainable Development*) (WRI, 2015). A seguir, a figura 2 apresenta a ferramenta GHG Protocol.

Figura 2 – Menu ferramenta GHG protocol 2016.1.1

Abas gerais	Introdução	Resumo	Fatores de emissão	Fatores variáveis	Fatores de conversão	Menu de navegação	
Escopo 1	Combustão estacionária	Combustão móvel	Emissões fugitivas	Processos industriais	Agrícolas e mud. no uso do solo	Resíduos sólidos	Efluentes
Escopo 2	Compra de Energia Elétrica	Compra de Energia Térmica					
Escopo 3	Categorias de Escopo 3	Transporte & Distribuição (upstream)	Resíduos sólidos gerados na operação	Efluentes gerados na operação	Viagens a negócios	Transporte & Distribuição (downstream)	

Fonte: GHG Protocol (2016).

O GHG Protocol fornece diretrizes para contabilização de GEE com natureza modular e flexível e neutralidade de política ou programa. A metodologia do GHG Protocol segue as normas ISO e as metodologias de quantificação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC (FGV, 2009). Para adaptação ao contexto nacional, foi criado o Programa Brasileiro GHG Protocol no ano de 2008, o qual foi responsável pela adaptação do método

GHG Protocol ao cenário brasileiro e desenvolvimento de ferramentas de cálculo para estimativas de emissão de gases na atmosfera (FGV, 2022).

Isso tem como resultado uma parceria de empresas, organizações não governamentais (ONG), governos e outras entidades, filiadas ao WBCSD e WRI (WRI, 2017). Salienta-se ainda que protocolo GHG utiliza uma estrutura flexível fundamentada em um processo de contabilidade de baixo para cima, o que significa que as emissões são calculadas no nível das fontes emissoras de GEE e podem ser agregadas ou desagregadas por instalação, unidade de negócios dentre outros (CHAN, 2006)

No que lhe concerne, dados secundários são definidos como aqueles que não se relacionam com as atividades específicas de uma organização de inventário ou sua cadeia de valor e podem incluir: médias do setor (por exemplo, de bancos de dados, estatísticas governamentais, literatura científica e associações do setor), dados financeiros e outros dados gerais (WRI, 2017). Geralmente, as organizações usam dados secundários para atividades não prioritárias ou para aquelas cujos dados primários não estão disponíveis (WRI, 2015).

De acordo com Nagal (2010) e Pachón (2014) os inventários de fato fornecem uma estimativa das emissões de GEE, pois para viabilizar os cálculos, várias premissas devem ser feitas, tais como: seleção e uso de fatores de emissão, fatores de alcance, coleta e manipulação de dados, e pesando sua ausência.

2.2.2 Inventários de fontes fixas

As fontes de emissão fixas de poluentes atmosféricos incluem duas categorias: naturais e artificiais. Como exemplo de fontes naturais de emissão, podem-se citar as emissões vulcânicas, incêndios florestais, aerossóis marinhos, processos microbianos, etc (ALVES, 2015). Por outro lado, as fontes antropogênicas são aquelas que resultam de muitas atividades humanas, por exemplo: refino de petróleo, queima de combustíveis fósseis e não fósseis, indústria de processamento, indústrias extrativas e ressuspensão de poeira por meio de transporte (GUTTIKUNDA et al., 2019).

A poluição do ar, por exemplo, com partículas finas, óxidos de enxofre e nitrogênio, monóxido de carbono e aldeídos vem de processos de combustão no setor de transporte e nos chamados fontes sólidas, principalmente relacionadas à produção de energia (KAWASHIMA, 2015).

As fontes de poluição do ar podem ser divididas da seguinte maneira: fontes sólidas: que podem ser divididas em dois grupos, o primeiro grupo inclui atividades não essenciais em regiões urbanas, como queima de combustível em lavanderias, padarias, hotéis e outras atividades não industriais. O segundo grupo é formado por uma atividade bastante representativa em termos de diversidade e intensidade de emissões de poluentes atmosféricos, processos industriais (CRUZ-NUÑEZ, 2014).

A estimativa de emissões neste tipo de abordagem é baseada em fatores nacionais ou regionais, cujos parâmetros podem incluir, entre outros, a população ou iluminação noturna. A abordagem de baixo para cima requer mais recursos para coletar informações específicas, como: fontes de emissão, nível de atividade, fatores de emissão. As estimativas são mais representativas e precisas nessa abordagem do que na abordagem Top-Down, pois os dados coletados não são provenientes de informações nacionais ou regionais (FANDIÑO et al., 2019).

2.2.3 Inventários de fontes móveis

Segundo Mariano et al. (2014), na maioria dos estados brasileiros, os inventários de fontes estacionárias são raros e desatualizados. Por exemplo, no caso de fontes móveis, é importante conhecer o tipo e a idade da frota de veículos, o comportamento da estrada e a configuração das vias. Em relação às fontes móveis, a representação das emissões dos veículos foi dividida em duas etapas, a primeira etapa é classificada como estradas principais (condução da estrada) e a segunda etapa como estradas secundárias (estradas com menos tráfego).

Nesses casos, para o monitoramento das emissões, devem-se considerar os poluentes: material particulado total (MP), material particulado menor que 10 μm (MP10), material particulado menor que 2,5 μm (MP25), dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO) e compostos orgânicos voláteis (COV) (MARIANO et al., 2014).

De acordo com a literatura, nos grandes centros urbanos, a contribuição relativa das emissões provenientes de veículos automotivos é muito significativa e até mesmo pode superar as emissões geradas por fontes fixas (ZHAO et al., 2018). Por esse motivo, em regiões metropolitanas, os veículos automotores constituem a principal fonte de emissão, com destaques para as emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio.

Os ônibus e veículos de carga são fontes preocupantes de material particulado (na forma de fumaça preta), por suas elevadas taxas de concentração em localidades tipicamente

residenciais e comerciais de baixa ventilação (LOIOLA et al., 2011). A parcela indireta e subestimada, já detectada por métodos avançados de medição, é para poeira suspensa em vias de comunicação, mesmo poeira endurecida, e na transformação de gases em partículas (RAVINDRA et al., 2019).

A maior parcela das emissões de monóxido de carbono e hidrocarbonetos é proveniente de veículos movidos a gasolina, enquanto os veículos a diesel, principalmente ônibus e caminhões, são responsáveis pelas emissões de óxido de nitrogênio e enxofre, além de material particulado (KUHN et al., 2015).

2.2.4 Pesquisas recentes no Brasil sobre inventários de emissões atmosféricas

A elaboração de inventários compreende uma iniciativa comum, que ajuda a mapear e compreender como ocorrem e quais as previsões futuras com relação às emissões de GEE na atmosfera, inventariando esses dados. (WANG et al., 2013).

De acordo com o *United Nations Environment Programme* (UNEP), existem diferentes entidades governamentais e centros de pesquisa localizados em universidades que têm desenvolvidos propostas de inventários de emissões para diferentes níveis (nacional, regional ou estadual), sendo importante considerar o setor de transporte e avaliando-se especificamente a emissão de poluentes atmosféricos, citando-se principalmente os gases monóxido de carbono (CO), NO_x, metano (CH₄), MP10 e MP2,5 e hidrocarbonetos não metanos (NMHC) (UNEP; CACC, 2012; FANDIÑO ET AL., 2019).

No estudo de Fandiño et al. (2019), tem-se a recomendação de que a produção de inventários de emissões completos, além das fontes de emissão consideradas como indústrias e escapamento de veículos, tenha a incorporação de outras fontes como incêndios florestais, queima de resíduos e modais de transporte. O estudo também recomenda analisar diferentes fontes relacionadas à combustão, como construção civil, mineração e geração de materiais particulados como devendo ser incluídos nos inventários de emissões (FANDIÑO et al., 2019).

A pesquisa de Vasquez et al. (2015) apresentou contribuições importantes no campo de propostas de inventários de emissões e monitoramento da qualidade do ar. Neste estudo, foi apresentado o inventário "*Brazilian vehicular emission inventory software - BRAVES*" que é um inventário criado a partir da combinação do método Top-Down com dados da frota veicular bem como consumo de combustível de municípios. Utilizou-se esse software, o qual se utiliza

de abordagem probabilística, para analisar características de consumo de combustível, frota, intensidade de uso e realizar cálculo de emissões veiculares do escapamento bem como outros fatores que direta ou indiretamente influenciam na emissão de gases. Foi utilizado um intervalo de tempo de cinco anos (VASQUEZ et al., 2015). Verificou-se que a emissão de gases como O₃, NO_x, SO₂, CO_{2eq} e NMCOV é fundamental na análise de emissões, pois estes são os que mais contribuem para mudanças climáticas. Por fim, os resultados desta pesquisa foram comparados com o inventário global EDGAR, identificando-se que o inventário BRAVES obteve resultados próximos a inventários estaduais e locais, sendo capaz de estimar emissões de uma grande variedade de poluentes em escala de cidades e segregar emissões por processo de formação e categoria de frota, sendo esta uma importante vantagem sobre inventários nacionais e estaduais (VASQUEZ et al., 2015).

Lobato et al. (2021) também realizaram um estudo por meio do qual desenvolveram um inventário de emissões com alta resolução na região de Vitória, no Estado de Espírito Santo, utilizando Sistema de Modelagem Integrada WRF-SMOKE-CMAQ. Conforme o estudo. Foram utilizados dados disponibilizados pelo IEMA do ano de 2010. A partir disso, o estudo produziu uma adaptação do inventário de fontes regional *Sparse Matrix Operator Kernel Emissions* (SMOKE) utilizando modelos de qualidade do ar (MQA), principalmente os modelos *Community Multi-scale Air Quality* (CMAQ), *Modeling System* e outros modelos fotoquímicos. Nesse estudo, os autores obtiveram valores simulados altos com relação a emissão de gases poluentes, os quais são condizentes com o monitoramento verificado na Região Metropolitana de Vitória (LOBATO et al., 2021).

As conclusões do estudo acima destacado apontam que erros em modelos de qualidade do ar estão relacionados a fatores como: variedade espacial de concentração de poluentes, inventário de emissões, dados meteorológicos, parâmetros de mecanismo químico e rotina numérica de análise de dados. O estudo identificou a existência de incertezas no inventário de emissões localmente utilizado em Vitória, propondo a adaptação desse inventário referente a especiação química dos poluentes (LOBATO et al., 2021).

Simões (2019) propôs uma análise e estimativa de inventários de emissões com enfoque na fonte de emissão veicular no Estado do Rio Grande do Norte, a fim de elaborar um diagnóstico das emissões atmosféricas por fontes veiculares no Estado. Nesse estudo, gerou-se dados de emissões a partir do inventário global EDGAR, dados que foram avaliados para o Estado através do módulo de emissões do modelo químico-atmosférico *European Air Pollution Dispersion – Inverse Model* (EURADIM). Sendo assim, foi realizada a adaptação do inventário

EDGAR através de dados processados com enfoque no setor de transporte rodoviário. O estudo realizou o mapeamento de emissões para o Estado do Rio Grande do Norte, realizando uma identificação das cidades com maiores rotas de tráfego veicular e determinando uma relação entre o tráfego e a emissões de poluentes. O estudo utilizou-se de uma abordagem Top-Down a partir do modelo de emissões veiculares VEIN, avaliando-se fontes por tipo de veículo, combustível e idade da frota (SIMÕES, 2019).

Nesse estudo identificou-se que o monóxido de carbono é o poluente de maior prevalência dentre os poluentes analisados. Além disso, foram encontrados altos valores de emissões de HCNM, NO_x, SO_x e material particulado. As contribuições desta pesquisa se dão no sentido de que os autores apresentam a caracterização de fluxos de emissão de poluentes bem como sua distribuição espacial, assim como determinaram locais e tipos de veículos de maior contribuição para emissão de poluentes (SIMÕES, 2019).

Costa (2021) propôs a análise do perfil de emissões atmosféricas do setor industrial do Estado do Rio de Janeiro, realizando uma comparação dos dados estaduais com os nacionais e comparando esses resultados com o Programa de Monitoramento de Emissões em Fontes Fixas para a Atmosfera - PROMON AR ao Programa de Relato de Inventários de Gases de Efeito Estufa. Nessa pesquisa, desenvolveu-se uma metodologia para estimar o dióxido de carbono de forma equivalente aos dados de amostragem de fontes fixas. Nesse estudo, foi desenvolvido um método para estimar CO₂e com base em dados de fontes fixas. Esse método indicou a possibilidade de redução de 40% de contribuição de indústrias, o que poderia gerar até 6% de redução de emissões de GEE totais relacionadas às fontes fixas no Estado do Rio de Janeiro. O estudo verificou que as emissões provenientes da agropecuária e mudança do uso da terra são as maiores fontes de emissões de GEE para o Estado (COSTA, 2021).

Além destes estudos, Hoinaski et al. (2021) também elaboraram uma avaliação do impacto das emissões veiculares, queimadas, industriais e naturais a partir de inventário de emissões atmosféricas no Estado de Santa Catarina. No referido estudo, os autores apontam sobre o impacto das emissões veiculares, industriais, naturais e de queimadas na qualidade do ar no Estado de Santa Catarina, visando conhecer as principais fontes emissoras de poluentes atmosférico. Os autores reuniram todos os inventários de emissões do Estado entre os de 2015 a 2019. Como principais resultados, os dados apresentados apontam que o Estado de Santa Catarina possui como principais fontes de emissões de gases poluentes o tráfego, devendo este ser um fator a ser monitorado com atenção conforme o estudo em função da quantidade de GEE liberados (HOINASKI et al., 2021).

Almeida (2011) se pautando nas diretrizes do IPCC (2006), na norma Internacional ISO 14064, no GHG Protocol realiza um trabalho com o objetivo de apresentar ferramentas para a elaboração de Inventários de GEE no setor público, sugerindo um roteiro de inventário visando tornar as estimativas mais acessíveis para entidades públicas de pequeno e médio porte. Elaborando o roteiro de inventário simplificado com o auxílio da ferramenta *Carbon Footprint Assesment and Reduction Workbook (C-FAR)* adaptada a realidade nacional. As estimativas de Almeida foram agrupadas por tipos de fonte realizando metodologia de cálculo utilizando fatores de emissão para um determinado tipo de GEE de uma fonte específica. Onde o cálculo consistia em multiplicar o valor de entra por um coeficiente de fator de emissão resultando na quantidade de emissão do GEE. Este utilizou dados de diversas fontes como EMBRAPA, IBGE, MCTI, GHG Protocol, IPCC.

O C-FAR é uma ferramenta desenvolvida em Excel, tendo como seus principais parceiros de desenvolvimento o *Center for Resilience*, da Universidade Estadual de Ohio e a Companhia de Energia Amareco, em conjunto com o MID-Ohio *Regional Palnning Comission (MORPC)*. A ferramenta foi desenvolvida para o fácil manuseio e de forma gratuita para atender municípios, sem custos aos interessados. Onde mostra exemplos de como montar a planilha fazendo referencias de métodos e diretrizes para medir emissões (ALMEIDA, 2011).

Silva (2017) inventariou as emissões de Gases do Efeito Estufa da cidade de Maceió (AL), estudando e propondo medidas para mitigar e neutralizar a emissão de CO₂ no município. Nesse estudo, o autor coletou dados de consumo de combustíveis, eletricidade e disposição de resíduos em órgãos públicos e concessionárias de serviços públicos utilizando o método de contabilização de emissões proposto por IPCC (2006) e pelo *GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard (Greenhouse Gas Protocol)*. Ele constatou um crescimento de 80% no nível de emissões de CO₂ no período de 2009 a 2014. A pesquisa apresenta evidências de que o setor de transporte, principalmente o modal rodoviário, contribui com a maior parcela de emissões de Gases do Efeito Estufa. Indicou que no município de Maceió ocorreu o aumento de 80% de emissões no período de cinco anos. Consequência do aumento do uso de combustíveis fósseis. Nesse estudo, foi estimado que as propostas de mitigação e neutralização de dióxido de carbono poderiam ser implementadas e reduziram em até 31% as emissões de GEE em Maceió.

Seguindo as diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) o Brasil, através do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, também tem se destacado na elaboração de inventário tendo publicado mais um no ano de 2021 evidenciando diversos GEE

dentre eles o CO₂, CH₄ e o N₂O advindos de vários setores como no setor de energia, processos industriais, setor agropecuário e de resíduos. Abrindo caminhos para elaboração de inventários para estados e municípios, através da metodologia e disponibilização de fatores que foram usados (MCTIC, 2021)

O primeiro inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) foi apresentado em 2011. Fornecendo estimativas de emissão de GEE como para o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido de nitrogênio (N₂O). Sendo o mais recente consultado o publicado em 2023 (CETESB, 2023). Utilizando metodologias baseadas em fator de emissão de uma determinada fonte específica.

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO E SUA CARACTERIZAÇÃO

A área de estudo é o Estado de Alagoas, localizado na região Nordeste do Brasil (NEB), possui área territorial de 27.839,661 km², população estimada de 3.127.683 milhões de pessoas, densidade demográfica de 112,38 hab/km², com um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,684, composta por 102 municípios, cuja capital do Estado é Maceió (IBGE, 2022). A figura 3, a seguir, apresenta o mapa de localização da área de estudo.

Figura 3 – Localização geográfica do estado de alagoas (AL), BRASIL



Fonte: IBGE Cidades (2024).

O ano base inventariado é o de 2019, ano escolhido pois apresentou uma maior abrangência de dados necessários para a realização dos inventários dos setores escolhidos, mais especificamente dados das fontes emissoras e coeficientes de emissões disponível para cada fonte emissora. Aliado a isso, o ano de 2019 foi o mais recente antes do período de pandemia sendo este, representativo as emissões dos setores analisados.

Neste inventário, foram incluídas as emissões provenientes da queima de madeira e carvão, dos transportes rodoviários, da agricultura (cultivo de culturas permanentes e temporárias), da fermentação entérica da pecuária e dos estoques de carbono das Unidades de

Conservação (UCs) no território alagoano. Esses setores foram selecionados devido à disponibilidade de dados, coeficientes de emissões e metodologias confiáveis. Não foram incluídas as emissões de resíduos, processos industriais, mudança de uso da terra e floresta, aquicultura, bem como alguns setores da agropecuária, como a queima de resíduos e o manejo de dejetos, devido à escassez de dados confiáveis e compatíveis com os fatores disponíveis ou devido ao tempo necessário para finalização do documento. Além disso, as emissões de energia elétrica e a assimilação dos GEE pelas UCS não foram consideradas devido ao curto período disponível para a análise.

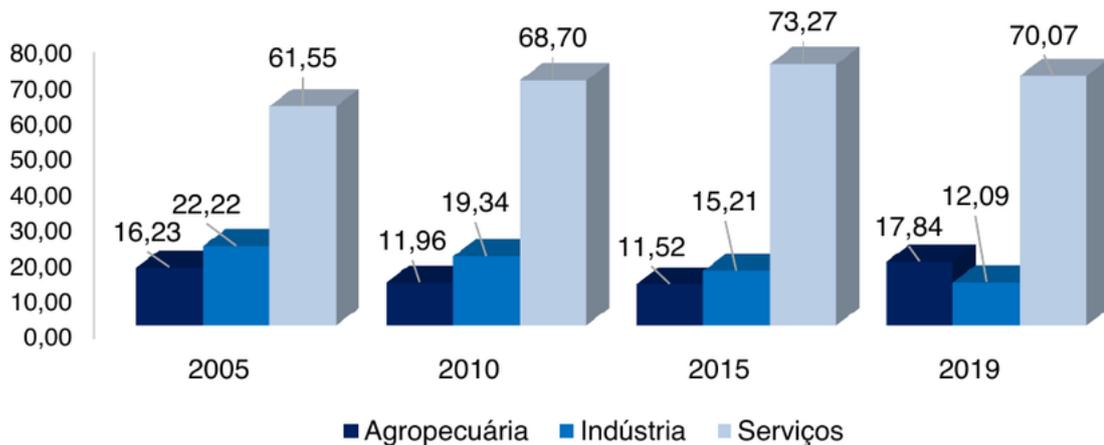
Apesar do setor relacionado com mudanças do uso da terra estar relacionado como o setor que mais emite no território brasileiro (QUINTAO, 2021), foram inclusas somente as informações dos estoques de carbono nas UCs. Os estoques de CO₂ nas unidades de conservação no território alagoano foram quantificados no sentido de fornecer um passo a mais para estudos posteriores para analisar possíveis impactos de queimadas dentro da unidade de conservação. Além disso, as informações referentes ao estoque de carbono nessas regiões são importantes para o entendimento dessas fontes e sumidouros de gases e a partir disso contribuir para diminuir as emissões líquidas dos mesmos.

Segundo o IBGE (2019) e RENAVAL (2019), Alagoas em 2019 possuía uma frota veicular de 889.900 e um rendimento mensal domiciliar per capita de R\$ 731,00. Apresentando um valor corrente de R\$ 58,964 bilhões de reais. Cinco municípios detêm maior participação no PIB: a capital, Maceió, concentrou 39,71%; Arapiraca (8,44%); Marechal Deodoro (4,09%); Coruripe (2,38%) e Rio Largo (1,98%) e estes estão normalmente relacionados com as maiores emissões por fontes diversas (IBGE, 2019).

Como podemos ver na figura 4, o setor agropecuário alagoano apresentou no ano de análise valor bruto de R\$ 9,460 bilhões, com crescimento real de 15,37% referente ao de 2018. A agricultura e a pecuária cresceram enquanto que a produção florestal, pesca e aquicultura apresentou uma queda. A indústria expôs o valor adicionado bruto² de R\$ 6,412 bilhões. Já o setor de serviços, obteve maior representatividade na composição do valor adicionado alagoano de R\$ 37.161 bilhões.

² O Valor Adicionado Bruto (VAB) é o valor que cada setor da economia (agropecuária, indústria e serviços) acresce ao valor final de tudo que foi produzido em uma região. O Produto Interno Bruto (PIB) é a soma dos VABs setoriais e dos impostos, e é a principal medida do tamanho total de uma economia (UFSC-NECAT,2021).

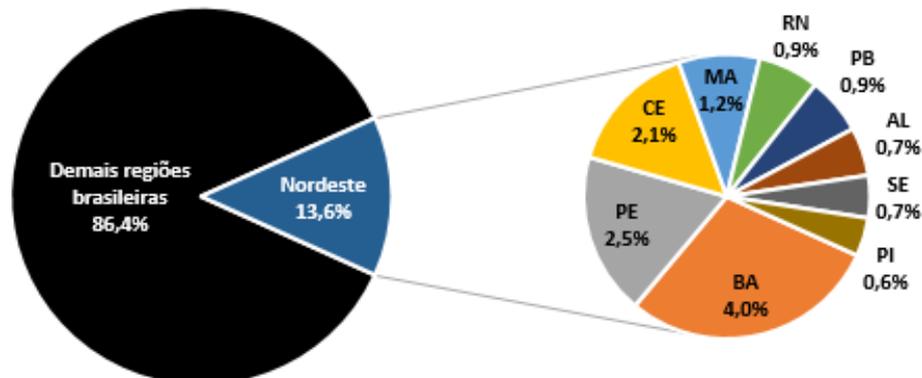
Figura 4 – Distribuição da participação setorial do PIB em 2019 e anos anteriores.



Fonte: Feitosa, 2021.

A figura 5 mostra a média da distribuição do PIB entre os Estados brasileiro e na região do nordeste ao longo de 2002 a 2020, onde destaca-se que Alagoas representa somente 0,7% do PIB brasileiro.

Figura 5 - Distribuição do PIB entre os estados do nordeste – média de 2002 a 2020%



Fonte: FGV, 2023, adaptada de IBGE.

3.2 INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE FONTES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

O método utilizado para a produção do inventário apresentado neste documento foi baseado no Guia de Orientações do IPCC 2022 (IPCC, 2022) assimilando deste documento as ideias gerais para a elaboração de um inventário, suas classificações do grau de precisão metodológica e fatores de emissão que não foram possíveis encontrar específicos para o Brasil, assim como o Protocolo Global para Cidades (GPC - Global Protocol for Communities),

lançado no ano de 2014 pela WRI, o C40 e o ICLEI, a NBR 14064 (2007). Este documento foi usado como guia complementar ao IPCC para orientar a medição e relato das emissões de GEE numa padronização internacional promovendo a transparência e permitindo comparações em diferentes lugares.

Foi utilizado também a Nota Técnica 01.1 da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2021) bem como também o Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (2006) e o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por veículos Automotores Rodoviários (2013). Usando, destas, a comparação metodológica, coeficientes de emissão por tipo de veículo, combustível e ano, os dados da intensidade de uso e comparando e usando fórmulas.

Com relação à quantificação e relato de emissões de GEE também foi utilizado o método proposto pelo GHG Protocol, o qual se apresenta como compatível com as demais normas citadas e sendo adequado ao cenário brasileiro conforme aponta Silva (2017) no estudo em que produziu inventários de fontes de carbono para o município de Maceió (AL). Também foi utilizada a ferramenta *Carbon Footprint Assesment and Reduction Workbook* (C-FAR) adaptada por Almeida (2011) ao contexto brasileiro que é uma ferramenta simplificada utilizada quando há poucas informações e fatores específicos para mensurar determinada fontes de GEE, também utilizada por Almeida, (2011) para produzir inventários de cidades do Paraná.

Neste trabalho, as emissões de GEE serão quantificadas através da abordagem baseada em cálculo, a qual inclui a abordagem de fator de emissões³ e o método de balanço de massa. (SINGH; BACHER, 2018). Por meio do cálculo do fator de emissões, tem-se um processo formado por etapas, utilizando-se o combustível ou a fonte material que se relaciona à uma determinada emissão. Sendo assim, os dados referentes à atividade são referidos à medida da atividade e o cálculo do resultado desta atividade como fontes de emissões (SILVA, 2017; SINGH; BACHER, 2018).

Para identificar e contabilizar as emissões de fontes de GEE foram calculadas, intersetorialmente, por meio da ferramenta GHG Protocol, método este também utilizado por Silva (2017) e pela CETESB (2022) em seus relatórios anuais de forma padronizada, para obter resultados segundo um limite organizacional pré-definido.

³ Coeficiente de emissão de uma fonte para um determinado GEE.

Devido à falta de dados, fatores de emissões específicos e a pouca disponibilidade de tempo para a elaboração deste inventário a ferramenta C-FAR adaptada por Almeida (2011) também foi utilizada para o contexto alagoano, diferindo quando a forma de mensurar as fontes móveis e atualizando os fatores conforme a realidade de Alagoas. Neste, basicamente multiplica-se o coeficiente de emissão para o CO₂, CH₄ e o N₂O, de determinada fonte, pela quantidade de medida desta fonte, transformando este resultado em CO₂e. Os fatores de emissão utilizados foram os nacionais advindo de diversas fontes de informações (CETESB, GHG Protocol Brasil, EMBRAPA, dentre outras), fontes estas que serão especificadas seu uso ao longo dos subtópicos a seguir da metodologia. As subcategorias utilizadas como principais fontes de emissões foram definidas de acordo com a realidade brasileira e com base nos dados do IBGE (2007), para o Estado de Alagoas.

Para mensurar as emissões de GEE, foram contabilizadas cada tipo de gás contribuinte para o efeito estufa do qual temos informações conforme o tipo de fonte analisada. No processamento dos cálculos utilizou-se o método de balanço de massas, baseado na determinação do saldo de GEE (entrada-saída), levando-se em consideração todos os processos ou uma unidade ou processo específico (GHG Protocol, 2009).

Após o processamento dos cálculos de emissões de cada tipo de GEE emitidos por cada tipo de fonte, evidenciado em cada setor e subsetor e tipo de fonte a quantidade do gás emitido e a sua equivalência de CO₂, foram mostradas em gráficos os resultados para cada tipo de poluente (gás) calculado por fonte analisada. Os GEE inventariados aqui foram os GEE dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) e transformados, ao final em dióxido de carbono equivalente conforme indicado no próximo tópico (tabela 4).

3.2.1 Procedimentos para os cálculos de Emissões de GEE

Para cada tipo de fonte emissora, foram calculadas e convertidas ao final para toneladas de CO₂ equivalente (tCO_{2eq}) conforme descrito na tabela 4.

Tabela 4 - Potencial de Aquecimento Global (GWP) por tipo de GEE equivalente ao CO₂.

Gás de Efeito Estufa	Valor
Dióxido de carbono (CO ₂)	1 CO ₂ e
Metano (CH ₄)	21 CO ₂ e
Óxido nitroso (N ₂ O)	310 CO ₂ e

Fonte: IPCC, 1996.

Posteriormente a coleta de dados, as informações obtidas foram tabuladas, recebendo tratamento estatístico, considerando-se que os dados disponibilizados pelas fontes consultadas não categorizam a fonte de consumo por setor. O tratamento estatístico consistiu em inserir os dados, coeficientes e suas variáveis na planilha do Microsoft Excel para cada tipo de fonte e suas especificidades e realizar testes de hipóteses para verificar a validade de suposições inferidas a partir dos resultados experimentais. A partir do tratamento estatístico, realizou-se análise comparativa dos gráficos de emissões de GEE. A tabela 5 apresenta, em síntese, as etapas que foram desenvolvidas para construção do inventário de GEE para o Estado de Alagoas.

Tabela 5 – Etapas da construção do inventário de emissão de gases de efeito estufa para o estado de alagoas.

	ETAPA	FINALIDADE	
P l a n e j a m e n t o	1.	Definição de princípios de contabilidade de GEE.	Os princípios devem ser relevantes, completos, consistentes, precisos e transparentes.
	2.	Estabelecimento de objetivos.	Determinação da finalidade de criação de inventário para Estado de Alagoas.
	3.	Definição dos limites organizacionais.	Definição dos limites de análise (territorial, fontes de emissão).
	4.	Definição dos limites operacionais.	Definição de todas as atividades, onde as atividades estão localizadas, quais emissões o Estado de Alagoas causou diretamente. Definido pelos Escopos 1, 2 e 3.
C á l c u l o	5.	Seleção do ano base para o rastreamento de emissões de GEE na linha do tempo.	Ano base 2019.
	6.	Identificação e contabilização das emissões de GEE / Cálculo das emissões de GEE.	Identificação, definição e seleção dos tipos de GEE inventariados. Seleção dos tipos de abordagem para cálculo de emissões, coleta e inserção de dados de atividades (inserir os dados para calcular as emissões de GEE). Contabilização dos GEE (CO ₂ , CH ₄ e N ₂ O).
R e l a t ó r i o	7.	Contabilização das emissões de GEE por tipo de atividade, subsetor e setor.	Realizar gráficos e tabelas com base nos cálculos. Comparação das emissões de GEE entre as fontes, seus subsetores e setores, bem como o tipo de gás de GEE no ano de 2019.
	8.	Relato das emissões de GEE no ano de 2019.	Elaboração de relatório

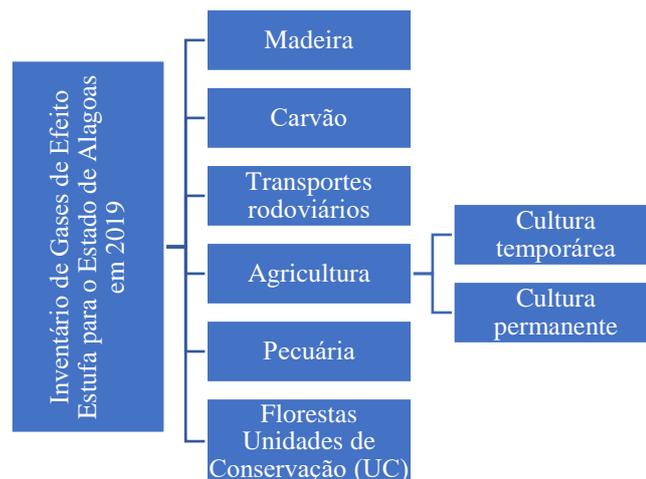
Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Nesse contexto, os procedimentos que corresponderam à elaboração deste inventário podem ser resumidos em: 1. Definição de Limites Organizacionais; 2. Definição de Limites Operacionais; 3. Seleções das metodologias de cálculos e fatores de emissão de fontes de GEE; 4. Coleta dos dados; 5. Cálculo de emissões; 6. Elaboração de relatório de emissões de fontes de GEE.

Os setores de emissões selecionados para a elaboração deste inventário estão destacados na figura 6. Devido à falta de dados confiáveis, fatores de emissão e tempo realização dos cálculos, outras fontes de emissões não puderam ser incluídas neste inventário, conforme detalhado na tabela 6. Essas fontes estão delineadas para possibilitar futuros trabalhos, nos quais, com a disponibilidade de dados ou a aplicação de metodologias adequadas para seu cálculo, poderão ser acrescentadas a este inventário.

Os dados foram tratados por meio da ferramenta GHG Protocol e agrupados em tabela evidenciando a categoria da fonte e atividade relacionada, etapa desenvolvida por autores com trabalhos semelhantes aos desenvolvidos nesta pesquisa, como Almeida (2011), Costa (2012), Aguiar et al. (2012) e Silva (2017). A seguir, a tabela 7, apresenta a relação de fonte de emissão e fonte de coleta de dados, bem como a literatura consultada para avaliação dos procedimentos que foram realizados.

Figura 6 – Setores de emissões de GEE no Estado de Alagoas inventariados nesta pesquisa.



Fonte: Autor, 2024.

Tabela 6 - Apresentação das fontes que não foram mensuradas nestes inventários e seus respectivos motivos.

Fontes de GEE que não foram mensuradas nestes inventários e seus respectivos motivos.				
Setor	Subsetor	Disponibilidade de dados	Fator de emissão ⁴	Metodologia validada ⁵
Energia	Energia elétrica	Não	Sim	Sim
	Gás natural	Não	Sim	Sim
	Diesel	Não	Sim	Sim
	Transportes marítimo, aéreo, ferroviário	Não	Sim	sim
	GLP – Gás Liquefeito de Petróleo	Não	Sim	Sim
Agropecuária	Aquicultura	Sim	Não	Não
	Criação de aves	Sim	Sim	Não
	Solos manejados	Não	Sim	Sim
	Manejo de dejetos	Não	Sim	Sim
	Queima de resíduos	Não	Sim	Sim
-	Queimadas	Não	Sim	Sim
	Processos industriais	Não	Sim	Sim
Resíduos	Resíduos Sólidos que vão para Aterro Sanitário	Não	sim	Sim
	Resíduos Sólidos Industriais que vão Incineração	Não	sim	Sim
	Tratamento de efluentes domésticos	Não	sim	Sim
	Tratamento de efluentes industriais (Ramo: Cerveja, Leite cru, Algodão, Papel, Suínos, Leite Pasteurizado, Aves, Bovino)	Não	Sim	Sim

Fonte: Autor, 2024.

⁴ Coeficiente de Emissão de CO₂, CH₄ ou N₂O⁵ Refere-se as referências para dados da fonte ou o fator de emissão consultada.

Tabela 7 – Relação de fonte de emissão e fonte de coleta de dados, bem como a literatura consultada para avaliação de procedimentos a serem realizados.

Setor	subsetor	Informação	Unidade do valor de entrada	Coefficiente de Emissão de CO2 e referência	Coefficiente de Emissão de CH4 e referência	Coefficiente de Emissão de N2O e referência	Fonte do fator de emissão	Fonte dos dados	Transparência/comentários sobre os dados	Referência base para organização e cálculo das emissões de GEE
Energia	Consumo em todo o território de Alagoas	Carvão	t (tonelada)	2624,61 kgCO2.t-1 (GHG Protocol Brasil, 2009)	0,0267 kgCH4.t-1 (GHG Protocol Brasil, 2009)	0,04005 kgN2O.t-1 (GHG Protocol Brasil, 2009)	Rodrigo de Almeida (2011)	IBGE (2019); IMA (2019)	O valor deste é referente a quantidade produzida, uma vez que não foi encontrado um valor confiável da quantidade consumida. A quantidade de carvão mineral e vegetal foram contabilizadas juntas por conta de falta de fatores específicos confiáveis para cada tipo de carvão. Os valores dos fatores são referentes ao carvão do tipo antracito que, por conter cerca de 90% de carbono e queimar sem emitir grande quantidade de fumaça e cinza, é um dos mais importantes combustíveis minerais (GUERRA, 1993).	GHG Protocol Brasil (2009); Ferramenta F-CAR; Rodrigo de Almeida (2011)
		Madeira e resíduos de madeira	t (tonelada)	1747,2 kgCO2.t-1 (GHG Protocol Brasil, 2009)	0,468 kgCH4.t-1 (GHG Protocol Brasil, 2009)	0,0624 kgN2O.t-1 (GHG Protocol Brasil, 2009)	Rodrigo de Almeida (2011)	IBGE (2019)	Embora tenha utilizado os mesmos fatores para as madeiras da extração vegetal e extração da silvicultura, bem como lenha e madeira em tora, nos resultados foram apresentados separadamente assim como para madeira e resíduo de madeira. Como não existe a atividade “indústria” ou a separação de como foi usado o resíduo no documento de referência, foram escolhidos valores relacionados	Ferramenta F-CAR; Rodrigo de Almeida (2011)

									à “energia” já que a madeira e resíduos de madeira é geralmente usado para substituir o uso de energia elétrica (GHG PROTOCOL BRASIL, 2009).	
AFOLU (Agriculture, Forestry and Other Land Use)	Florestas	RPPNs	Hectares (ha)	206,3233333 tCO ₂ .(ano.ha) -1 (SANQUETT A, 2006)	-----	-----	Almeida, (2011)	IMA, 2019; IBGE 2019	A quantificação de CO ₂ para florestas foi calculada multiplicando-se a área florestal pelo coeficiente de emissão de CO ₂ que seria liberado se essa área fosse desmatada. Mas, o valor final do subsetor florestas não será considerado como emissão. Apresentando apenas o que há de estoque de carbono em dióxido de carbono. Não foram achados valores específicos para cada tipo de UCs em Alagoas, então os fatores que foram utilizados foram seguindo as orientações do IPCC e GHG Protocol Brasil, sendo substituído por fatores utilizados para outros Estados Brasileiro. É preciso encontrar ou realizar trabalho em campo para encontrar ou gerar fatores de emissão mais específicos, afim de elevar o nível da qualidade e confiabilidade dos resultados.	Ferramenta F-CAR; Rodrigo de Almeida (2011); IPCC, 2006.
		Reserva legal e Parques públicos		695,0533333 tCO ₂ .(ano.ha) -1 (SANQUETT A, 2006)	-----	-----	Rodrigo de Almeida (2011)			
		APP		296,2666667 tCO ₂ .(ano.ha) -1 (FUNBIO e SPVS,2009)	-----	-----	Rodrigo de Almeida (2011)			
		Eucalipto		294,3 tCO ₂ .(ano.ha) -1 (OLIVEIRA et al, 2008)	-----	-----	Rodrigo de Almeida (2011)			
		Floresta de Mata Atlântica		130,38 toneladas de carbono por hectare	-----	-----	MCTI, IPCC, SOS Mata Atlântica 2021			

									(ano.ha). Dessa forma, decidiu-se não adotar esse valor por tipo de mata e sim por tipo de UC.	
Agricultura	Arroz inundado		-----	0,2 tCH ₄ .ha ⁻¹ (EMBRAPA, 2006b)	0,0054861374 9 8 tN ₂ O.ha ⁻¹ (EMBRAPA, 2006a)	Rodrigo de Almeida (2011)	IBGE (2019)	Os valores fornecidos pela Embrapa (2006b) são os baseados em dados de 1995 referentes ao plantio de arroz inundado em regime contínuo no Estado do Paraná. Para as emissões de N ₂ O, foi considerado o mesmo valor aplicado aos demais cultivos agrícolas.	GHG Protocol Brasil (2009); Rodrigo de Almeida (2011)	
	Soja + milho + algodão + feijão + trigo + mandioca + café + açúcar + laranja + fumo		-----	-----	0,0054861374 98 tN ₂ O.ha ⁻¹ (EMBRAPA, 2006a)	Rodrigo de Almeida (2011)	IBGE (2019)	Os fatores utilizados aqui advieram da EMBRAPA (2006a) de 1995 dos solos agrícolas do Paraná, e os valores para o CH ₄ não foram considerados já que para este gás a maior significância está para o cultivo de arroz.		
Criação de Animais	Vacas leiteiras	Quantidade de Bovinos	-----	62kgCH ₄ .(cabeça. ano) ⁻¹ (EMBRAPA, 2006a)	0,030625 tN ₂ O.(cabeça. ano) ⁻¹ (EMBRAPA, 2010)	Almeida, (2011)	IBGE (2019)	O fator de emissão foi advieram da Embrapa (2006a) foram baseados em dados da fermentação entérica de animais criados em território brasileiro. Os dados de Martins-Costa et. al. (2009) foram mensurados a partir de estudo de rebanho no Rio Grande do Sul.	GHG Protocol Brasil (2009); Rodrigo de Almeida (2011)	
	Vacas secas (de corte)		-----	42kgCH ₄ .(cabeça. ano) ⁻¹ (EMBRAPA, 2006a)	0,0175 tN ₂ O.(cabeça. ano) ⁻¹ (EMBRAPA, 2010)			Não foram achados dados específicos para este tipo de criação (macho ou fêmea ou bovinocultura mista) ou por quantidade de cabeças sendo assim, todos os dados que poderiam ser atrelados a bovinocultura foram somados a vacas secas de corte.		

		Bubalinos	Quantidade de Bubalinos	-----	55 kg (MCTIC, 2015)	2 kg (MCTIC, 2015)			Não foram encontrados o número de animais para 2019.	
		Equinos	Quantidade de equinos	-----	18 kgCH ₄ .(cabeça a.ano)-1 (IPCC, 1996)	0,0175 tN ₂ O.(cabeça. ano)-1 (EMBRAPA, 2010)			O coeficiente fornecido pelo IPCC (1996) foi resultado da observação de emissões da fermentação entérica de animais criados em países em desenvolvimento e dietas específicas.	
		Ovinos	Quantidade de ovelhas, carneiros e cordeiros	-----	5,0 kgCH ₄ .(cabeça a.ano)-1 (IPCC, 1996)	0,00525 tN ₂ O.(cabeça. ano)-1 (EMBRAPA, 2010)				
		Caprinos	Quantidade de cabras e bodes	-----	5,0 kg CH ₄ .(cabeça.a no)-1 (IPCC, 1996)	0,00525 tN ₂ O.(cabeça. ano)-1 (EMBRAPA, 2010)				
		Suínos	Quantidade de porcos	-----	1,0 kgCH ₄ .(cabeça a.ano)-1 (IPCC, 1996)	0,007 tN ₂ O.(cabeça. ano)-1 (EMBRAPA, 2010)				
		Galináceos	Quantidade de porcos		-----	0,023 kg (MCTIC, 2015)				Não foram encontrados o número de animais para 2019.
		Bubalinos	Quantidade de bubalinos	-----	55 kg CH ₄ (cabeça/ano) (MCTIC, 2015)	-----	MCTIC, 2015; Inventário de GEE de Pernambuco (2021)	IBGE (2019)		

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024) em Almeida 2011.

3.2.2 Emissões de GEE - Fontes de carvão e madeira

Conforme mostrado na tabela 8, neste setor foram considerado o consumo do carvão, da madeira em tora e lenha advindos da extração vegetal e da silvicultura produzidos em território alagoano⁶. A quantidade de toneladas de cada um dos itens foi coletada através da base de dados⁷ do IBGE (2024) de ano base 2019. Com base em Almeida (2011) as emissões foram mensuradas multiplicando cada tonelada de carvão e de madeira pelos seus respectivos fatores de emissão de GEE a cada tonelada. Os respectivos fatores de emissão utilizados foram os indicados pelo GHG Protocol Brasil (2009) também utilizados pelo autor em seu inventário.

Os cálculos a partir do fator de emissão consistiu em multiplicar o valor de entrada (tonelada produzida) por um coeficiente de fator de emissão, o que resulta na quantidade de emissão do GEE (ALMEIDA, 2011), como exemplificado nas equações a seguir. Posteriormente, os resultados encontrados foram convertidos para CO2 equivalente.

$$\mathbf{ECO2 = Ve * FE CO2} \qquad \mathbf{Eq. 01}$$

Onde,

ECO2= valor de emissões de dióxido de carbono em kg CO2/unidade do Ve;

Ve = valor de entrada conforme a unidade fornecida;

FE CO2 = fator de emissão de dióxido de carbono conforme a unidade do Ve.

$$\mathbf{ECH4 = Ve * FECH4} \qquad \mathbf{Eq. 02}$$

Onde,

ECH4 = valor de emissões de metano em kgCO2/unidade do Ve;

Ve = valor de entrada conforme a unidade fornecida no Tabela 11;

FECH4 = fator de emissão de metano conforme a unidade do Ve.

⁶ Não foi possível obter dados confiáveis de quanto exatamente foi consumido de madeira e carvão advindos de fontes externas ao território alagoano. Então, foi adotado os dados de produção do Estado, consultados na base de dados do IBGE (2024) para o ano base 2019, como sendo todos consumidos em território Alagoano.

⁷ Os dados coletados nesta pesquisa na base de dados do IBGE não apresentavam por quais setores da economia que foram utilizados a madeira e o carvão, apresentando apenas a quantidade usada em todo o Estado de Alagoas.

$$EN_{2O} = V_e * FE_{N_{2O}} \quad \text{Eq. 03}$$

Onde,

EN_{2O} = valor de emissões de óxido nitroso em $kgCO_2$ /unidade do V_e ;

V_e = valor de entrada conforme a unidade fornecida no Tabela 11;

$FE_{N_{2O}}$ = fator de emissão de óxido nitroso conforme a unidade do V_e .

Para os coeficientes de emissões advindos da madeira, como não foi especificado qual foi a utilização desta madeira pela indústria e como estavam distribuídos pela finalidade e tipo de uso na base de dados do IBGE, foram escolhidos os valores do fator de emissão relacionados à “energia” considerando que a madeira e resíduos de madeira é geralmente utilizado para substituir o uso de energia elétrica (GHG PROTOCOL BRASIL, 2009).

As unidades de medida para madeira, na base de dados do IBGE, estavam em metros cúbicos e foram transformados em toneladas para se adequar a ferramenta C-FAR, podendo ser então multiplicadas pelo coeficiente de emissão para madeira. Usando a Eq.4 que indica a conversão de acordo com a Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2009:

$$1 \text{ m}^3 \text{ de madeira equivale a } 740 \text{ kg} = 0,740^8 \text{ toneladas.} \quad \text{Eq. 04}$$

Devido à falta de dados específicos sobre os tipos de carvão que circulam em Alagoas, foi utilizado o fator de emissão referente ao carvão do tipo antracito. O antracito, contendo cerca de 90% de carbono e queimando sem emitir grandes quantidades de fumaça e cinza, é um dos combustíveis minerais mais importantes. Esse mesmo procedimento foi adotado nos inventários elaborados por Guerra (1993) e Almeida (2011).

⁸ Os metros estéreos em toneladas foi dividido por 1,35, ou seja, um metro estéreo equivale a aproximadamente 740 kg ($1/1,35=0,740$).

Tabela 8 - Produção de carvão e madeira no Estado de Alagoas em 2019 segundo o IBGE em base de dados do ano de 2019.

Tipo de fonte	m ³ ⁹	Toneladas
Lenha da extração vegetal	18.987	14064,44
Madeira em tora extração vegetal	172	127,4074
Silvicultura / Lenha	57.855	42855,56
Silvicultura / Madeira em tora	96.467	71457,04
Carvão da Extração vegetal	-	5
Carvão da Silvicultura Lenha da extração vegetal	-	3

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024 com base no IBGE 2019.

3.2.3 Emissões de GEE – Fontes móveis

Para o inventário de fontes móveis foi considerado o setor de transportes rodoviários e destes mensurado as emissões advindas do consumo de gasolina¹⁰, etanol, flex e diesel por cada quilometro rodado por tipo de veículo e ano, ficando de fora algumas outras formas de emissão como a das emissões evaporativas e fatores de deterioração. Os transportes aéreos, marítimos e ferroviários não foram estimados pela indisponibilidade de dados para a área de estudo.

Para calcular as emissões de escapamento¹¹ foram necessários: dados de fator de emissão¹² por tipo de veículo, poluente e combustível; a quilometragem média ou intensidade de uso¹³ por tipo de veículo e ano de fabricação; e o número de veículos por categoria, combustível e ano de fabricação.

De acordo com Silva (2018) e CETESB (2022) a equação geral utilizada para o cálculo das emissões de escapamento é dada por:

⁹ Os dados das fontes da tora de madeira e lenha tanto da extração vegetal quanto da silvicultura estavam em m³ e precisaram ser convertidos para toneladas.

¹⁰ Neste estudo, como não foi possível identificar um número exato e confiável para saber o número de veículos que o utiliza cada tipo de gasolina, o fator de emissão de GEE considerado foi o da gasolina tipo C.

¹¹ Emissão de escapamento são os gases e partículas gerados pela queima de combustível no motor do veículo e lançados pelo tubo de escapamento do veículo. Podem ser poluentes locais e gases de efeito estufa (CETESB, 2020).

¹² Os fatores de cada tipo de veículos estão nos anexos.

¹³ A intensidade de uso por cada tipo e ano dos veículos podem ser encontrados nos anexos.

$$E = Fr \times Fe \times Iu$$

Eq. 05

onde:

E = Massa do poluente emitida durante o ano que se quer inventariar (g/ano);

Fr = Frota veicular, ou seja, número de veículos por categoria, combustível e ano de fabricação;

Fe = Fator de emissão, depende do tipo de veículo, poluente e combustível utilizado (g/km);

Iu = Intensidade de uso ou quilometragem média anual percorrida pelo veículo.

A intensidade de uso de um veículo é definida como a distância total percorrida ao longo de um ano, medida em quilômetros por ano (km/ano). Esse parâmetro varia de acordo com o tipo e a idade do veículo e o ano de fabricação. O fator de emissão refere-se à quantidade de poluentes emitidos por um veículo ao percorrer uma determinada distância, sendo expresso em gramas por quilômetro (g/km).

Todos os fatores de emissão e os valores de intensidade de uso empregados neste estudo foram extraídos do Relatório de Emissões Veiculares publicado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2004) abrangendo dados até o ano de 2019, bem como do Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa do Brasil de 2022 e suas edições anteriores.

A Frota Veicular (Fr) mencionada na equação 04 é a quantidade de veículos que estão cadastrado no Estado de Alagoas independentemente de estarem licenciados ou apenas registrados no órgão de trânsito e esta foi tomada como sendo igual ao número de veículos que consta no RENAVAM¹⁴. As categorias de veículos utilizadas para os cálculos das emissões de poluentes estão descritas na tabela 9.

Conforme a equação 5, para determinar, Fr, a quantidade de cada tipo de veículo por ano, utilizou-se metodologia baseada em divisão proporcional. Inicialmente, multiplicou-se o número total de automóveis¹⁵ pelo número total de veículos de cada ano, dividindo pelo número total de veículos. Subsequentemente, o resultado foi subdividido proporcionalmente entre automóveis movidos a gasolina, etanol e flex¹⁶. Esta segunda divisão proporcional foi realizada

¹⁴ Registro Nacional de Veículos Automotores.

¹⁵ A quantidade total, para cada tipo de veículo por ano, foi retirada da base de dados do RENAVAM.

¹⁶ Os valores totais dos veículos por tipo de combustível foram retirados da base de dados do RENAVAM.

multiplicando o resultado da primeira divisão pelo total de veículos de cada tipo de combustível, dividindo pela soma de todas as opções de combustível para esse tipo de veículo (gasolina, etanol e flex, no caso dos automóveis).

Tabela 9 - Categorias de Veículos por tipo de combustível em Alagoas.

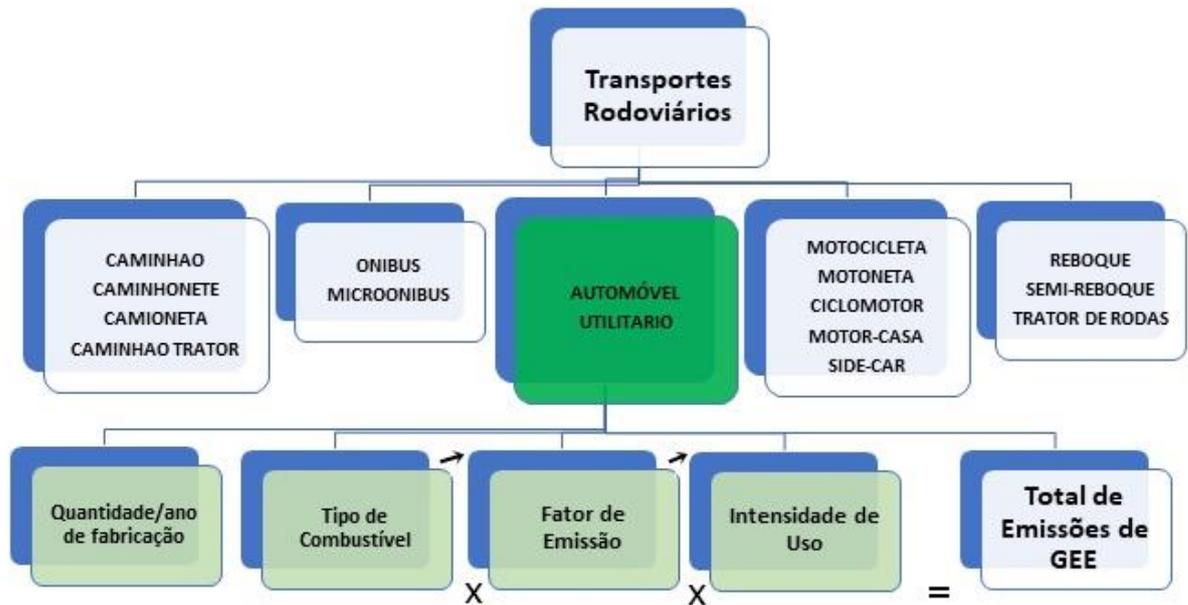
CATEGORIAS	TIPO DE COMBUSTÍVEL	DEFINIÇÃO
Motocicletas	Gasolina tipo C e Flex	Veículo automotor de duas rodas, com ou sem sidecar, dirigido em posição montada.
Automóveis	Gasolina tipo C Etanol Flex	Veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, inclusive o condutor.
Veículos Comerciais Leves	Gasolina tipo C Etanol Flex Diesel	Veículo automotor destinado ao transporte de pessoas ou carga, com peso bruto total de até 3.500 kg.
Caminhões	Diesel	Veículo automotor destinado ao transporte de carga, com carroçaria, e peso bruto total superior a 3.500 kg.
Ônibus	Diesel	Veículo automotor de transporte coletivo dentro do Estado de Alagoas.
Micro-Ônibus	Diesel	Veículo automotor para transporte coletivo com capacidade para até vinte passageiros, para uso urbano, intermunicipal ou rodoviário, incluindo os miniônibus.

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da CETESB, 2019.

O resultado deste processo de divisões proporcionais é denominado Fe. Multiplicando-se o Fe pelo fator de emissão (expressos em g/km), e pela intensidade de uso (em km/ano), obtém-se o total de emissões por tipo de combustível e tipo de veículo.

Este mesmo procedimento foi replicado para motocicletas, veículos comerciais leves, micro-ônibus, ônibus e caminhões. O processo completo está ilustrado na figura 7.

Figura 7 - Ilustração do processo de obtenção dos GEE advindos dos transportes rodoviários.



Fonte: Autor, 2024.

Os valores gerais obtidos pelos dados do RENAVAL (2019) para cada tipo de veículo e combustível então organizados na tabela 10.

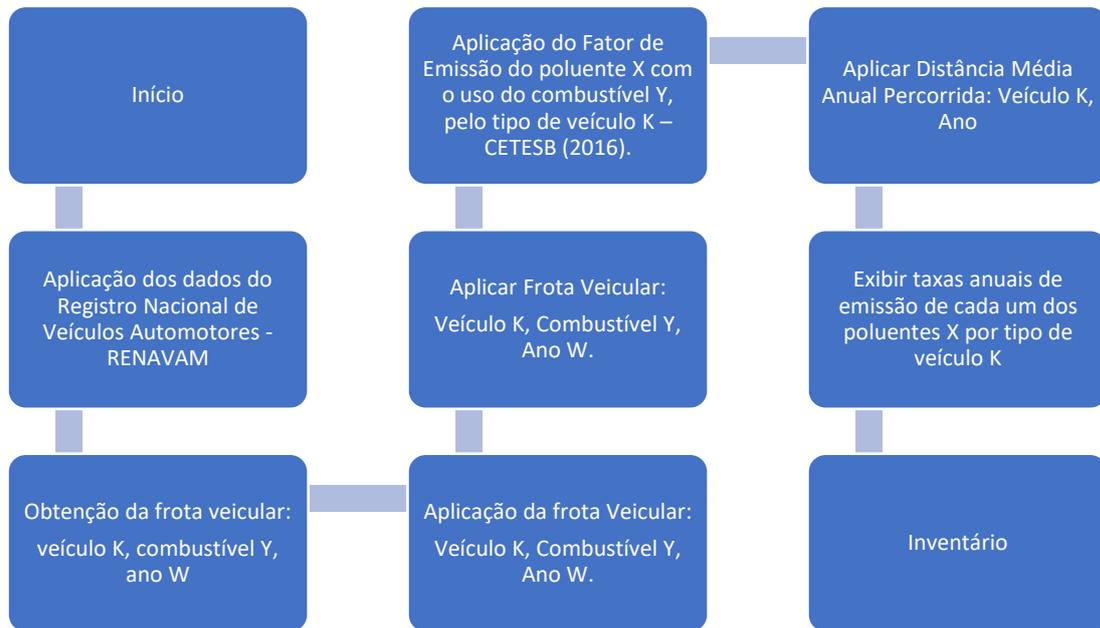
Tabela 10 - Número e tipo de veículos por tipo de combustível em Alagoas para 2019

Tipo de veículos	Tipos de veículos por tipo de combustível no Estado de Alagoas				
	Quantidade de veículos	Gasolina	Etanol	Flex	Diesel
Motocicletas	360.998	265.811	-----	106.301	-----
Automóveis	374.169	211.999	14.413	147.757	-----
Veículos comerciais leves	87.912	42.213	2.870	45.490	3.334
Ônibus	8.348	-----	-----	-----	8.348
Micro-ônibus	7.027	-----	-----	-----	7027
Caminhões	24.819	-----	-----	-----	24.819
Total	863.322	381.066	25.907	410.647	71.470

Fonte: RENAVAL, 2019.

Com os dados da fonte e os fatores organizados, foi possível realizar as estimativas e desenvolver o processo descrito na figura 8.

Figura 8 – Fluxograma do processo desenvolvido



Fonte: Autor, 2024.

Veículos fabricados antes de 1980 foram tratados como um único grupo, devido à falta de dados específicos sobre a intensidade de uso e fatores de emissão para veículos com mais de 40 anos nos relatórios da CETESB e no Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa do Brasil (MCTI, 2024). Portanto, os fatores de emissão e a intensidade de uso para esses veículos foram substituídos pelos valores mais próximos disponíveis.

Adicionalmente, na base de dados do RENAVAL, 1.115 veículos não tinham o ano de fabricação especificado. Para esses veículos, tanto o fator de emissão quanto a intensidade de uso foram atribuídos com base nos valores de 2019, para fins de cálculo. Os 1.115 veículos foram distribuídos proporcionalmente aos números totais de cada tipo de veículo. Não foi possível aplicar a taxa de sulcateamento da frota veicular de Alagoas devido a falta de dados governamental.

Para motocicletas fabricadas a partir de 2010, foram utilizados exclusivamente os fatores de emissão para veículos flex. Isso ocorreu devido à ausência de valores específicos de intensidade de uso (UI) para motos a gasolina e flex separadamente, além da obrigatoriedade, a partir dessa data, da fabricação de motos flex no Brasil conforme apontado pela CETESB (2022). Não foram encontrados dados que distinguíssem a quantidade de motos flex daquelas movidas apenas a gasolina.

Adicionalmente, não foi possível distinguir as motocicletas por tipo de cilindrada. Considerou-se as motocicletas como sendo todas de 150 cilindradas devido ao fato da maioria desses veículos serem dessa categoria (UOL, 2008; ABRACICLO, 2024).

Para veículos comerciais leves, os fatores de emissão disponíveis abrangem o período de 2002 a 2019. Não foram encontrados fatores de emissão para anos anteriores a 2002; nesses casos, os fatores referentes ao ano de 2002 foram aplicados retroativamente. Como os fatores de emissão para o Flex foram calculados somando os fatores de emissão para gasolina e etanol e dividindo por dois, pode-se considerar que as emissões dos automóveis movidos a flex é uma média entre os fatores de gasolina e etanol conforme observado nos inventários nacionais e os da CETESB.

Como não foi possível classificar os caminhões de acordo com suas subcategorias para o estado de Alagoas, os fatores adotados para todos os caminhões foram os que seriam referentes aos semipesados devido a suas predominâncias no território brasileiro (Moura, 2021; PENAESTRADA, 2024). Já no caso dos ônibus não foi possível fazer separação os ônibus rodoviários ou urbanos, então foram adotados os fatores dos ônibus urbanos.

Entendendo que os resultados das emissões de GEE estão diretamente relacionados aos fatores de emissão, à intensidade de uso, e à idade média da frota veicular. Esses dados utilizados serão convertidos em gráficos e apresentados nos resultados, com o objetivo de ampliar a identificação, compreensão e análise das emissões. Buscando assim, facilitar o entendimento necessário para a aplicação de políticas públicas.

3.2.4 Cálculo de emissões advindas de fontes de agricultura, pecuária, floresta.

Neste estudo, o cálculo das emissões poderia ser realizado por meio de fórmulas específicas que incorporam diversas variáveis, conforme as preferências do protocolo do IPCC¹⁷ (2006). No entanto, não foi possível encontrar os dados fontes específicos como a forma de criação dos animais (intensivo, extensivo, idade) e o tipo de cultivo e plantio (se é plantio direto, rotação de cultura) bem como foram encontradas as formas de correção ou irrigação do solo (se a fertilização é implementada sem cuidados ou se é realizada por gotejamento, se a

¹⁷ O Tier 1 é tido como o método básico, com uso de fatores de emissão padrão (default) indicados pela própria metodologia do IPCC, o Tier 2 intermediário, e o Tier 3 mais exigente em termos de requisitos de dados obtidos nacionalmente. Os Tier 2 e 3 são considerados como métodos de estimativas mais precisos.

irrigação é por sulco ou alagamento, além da quantidade de vezes que é realizada). Então, devido à ausência de dados específicos, a utilização de fatores de emissão do tipo nível de precisão tier 1 e 2¹⁸ foi mais apropriada, pois estes apresentam menor incerteza nos resultados, especialmente quando derivados de fontes confiáveis (IPCC, 2006; Almeida 2011).

Os dados da fonte de emissões e fatores de emissão utilizados foram os da base de dados do IBGE para Alagoas ano base 2019 conforme a tabela 7. O cálculo baseado no fator de emissão envolve a multiplicação do valor de entrada por um coeficiente de fator de emissão, resultando na quantificação das emissões de gases de efeito estufa (GEE), conforme demonstrado nas equações a seguir conforme indicado pela ferramenta F-CAR e seguido também por Almeida (2011).

$$\mathbf{ECO2 = Ve * FE CO2} \qquad \qquad \qquad \mathbf{Eq. 06}$$

$$\mathbf{ECH4 = Ve * FE CH4}$$

$$\mathbf{EN2O = Ve * FE N2O}$$

Onde

ECO2= valor de emissões de dióxido de carbono em kgCO2/unidade do Ve;

ECH4 = valor de emissões de metano em kgCO2/unidade do Ve;

EN2O =valor de emissões de óxido nitroso em kgCO2/unidade do Ve;

Ve = valor de entrada conforme a unidade fornecida no Tabela 11;

FECO2 = fator de emissão de dióxido de carbono conforme a unidade do Ve.

FECH4 = fator de emissão de metano conforme a unidade do Ve.

FEN2O = fator de emissão de óxido nitroso conforme a unidade do Ve.

¹⁸ Apenas para atividade dos bovinos foram separadas as que eram para produção de leite as que eram para o corte com base nos dados do IBGE, utilizando seus devidos fatores específicos. Mas não foi encontrado o quantitativo de cada um conforme a idade. Para o cultivo de arroz foram utilizados fatores específicos para o CH4 e N2O, mas não foi realizado para as demais culturas, por tanto as demais culturas se encaixam na classificação do tier 1 (nível 1 de precisão) segundo o IPCC, 2006.

Para calcular as emissões de gases de efeito estufa provenientes de fontes relacionadas à agricultura, pecuária e florestas, foi utilizado, semelhante ao discutido anteriormente, modelo simplificado de roteiro para elaboração de inventários, adaptando a ferramenta C-FAR à realidade de Alagoas. O processo consiste em multiplicar o coeficiente de emissão para CO₂, CH₄ e N₂O, de uma determinada fonte, pela quantidade medida dessa fonte, convertendo este resultado em CO₂e.

Semelhante à Almeida (2011), as emissões de CH₄ e N₂O da floresta e o cultivo de eucalipto, o CO₂ do cultivo de arroz, o CO₂ e CH₄ do cultivo das demais culturas e o CO₂ da pecuária não foram consideradas devido à sua inexpressividade em relação às demais emissões de GEE estimadas das respectivas fontes mencionadas. Para os estoques de carbono em florestas e cultivo do eucalipto, foram mensuradas as emissões de CO₂. No caso do arroz, foram mensuradas as emissões de CH₄ e N₂O, e na agricultura, foram mensuradas as emissões de N₂O. Para a criação de animais, foram mensuradas as emissões de CH₄ e N₂O.

Para o ano de 2019, em Alagoas, foram registrados os seguintes quantitativos de fontes nas áreas de uso da agricultura, pecuária e estoque florestal (IBGE, 2019) conforme evidenciado na tabela 11.

Tabela 11 - Quantitativo de produção agropecuária e reserva de floresta no Estado de Alagoas em 2019.

Cultura	Produção Agropecuária			Florestas (UCs)	
	Hectare plantado	Criação de animais	Quantidade de cabeças	Tipo de Vegetação	Hectares
Abacaxi	3535	Vacas leiteiras	250.496	RPPN Atlântica	10612,6
Abacate	111	Vacas secas (de corte)	982.898	RPPN Caatinga	127,77
Açaí	37	Equinos	92.025	APA Atlântica	597.602,52
Algodão	164	Ovinos	307.047	ESEC Atlântica	6144,844
Amendoim	2.274	Caprinos	71.584	ESEC Caatinga	40,52404
Arroz inundado	3.008	Suínos	143.540	MONA Caatinga	26723,65
Banana	8688	Bubalinos	1.175	PARQUE Caatinga	21,70296
Batata Doce	4.303			PARQUE Atlântica	3329,203431
Cana de açúcar	304.748			REBIO Atlântica	4419,519
Castanha	788			RESEC Atlântica	866,8031284
Coco	21368			RESEX Atlântica	10214,99

Fava	579				
feijão todas as cores	28.873				
Fumo	14.382				
Goiaba	437				
Laranja	12301				
Limão	378				
Mamão	726				
Maracujá	37.044				
Melancia	1391				
Melão	1415				
Melão	1.100				
Milho	78				
Pimenta do reino	38.627				
Soja	271				
Sorgo	3.141				
Sorgo	390				
Tangerina	144				
Tomate	158				
Total	490.459		2098086		660104,1266

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024, com base nos dados base de 2019 do IBGE.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados deste inventário de emissões de gases de efeito estufa abrangem as emissões provenientes do uso da madeira e carvão, transporte rodoviário (fontes móveis), atividades agrícolas e pecuárias, além de complementar com os estoques de carbono das unidades de conservação em todo o território do Estado de Alagoas para futuro desenvolvimento de inventário nesta área (figura 6). Dessa forma, os resultados serão apresentados subdivididos em cada setor inventariado. Quando existente, serão apresentados os subsetores calculados para cada grupo.

4.1 ENERGIA

Conforme relatório da SEEG (2024) para o ano base 2019, o setor de energia no Brasil foi responsável por 19% das emissões de GEE em 2019, sendo que 38% dessas emissões provieram do setor de transporte, segundo o relatório anual do IEMA (2019). Em Alagoas, de acordo com a SEEG (2024), o setor de energia contribuiu com 35,8% das emissões totais de GEE, equivalente a 2,69 MTCO_{2e}.

Neste inventário, a soma das emissões de GEE provenientes do uso de madeira, carvão¹⁹, e combustível no setor de transportes rodoviários em Alagoas em 2019 totalizou aproximadamente 2.591.627,13 toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}), ou 2,59 MtCO_{2e}. É importante destacar que não foram incluídas as emissões dos transportes aéreos, marítimos, ferroviários e da geração de energia elétrica neste inventário. A seguir serão explicitadas cada subcategoria e fontes inventariadas no setor de Energia.

4.1.1 Madeira e Resíduo de Madeira

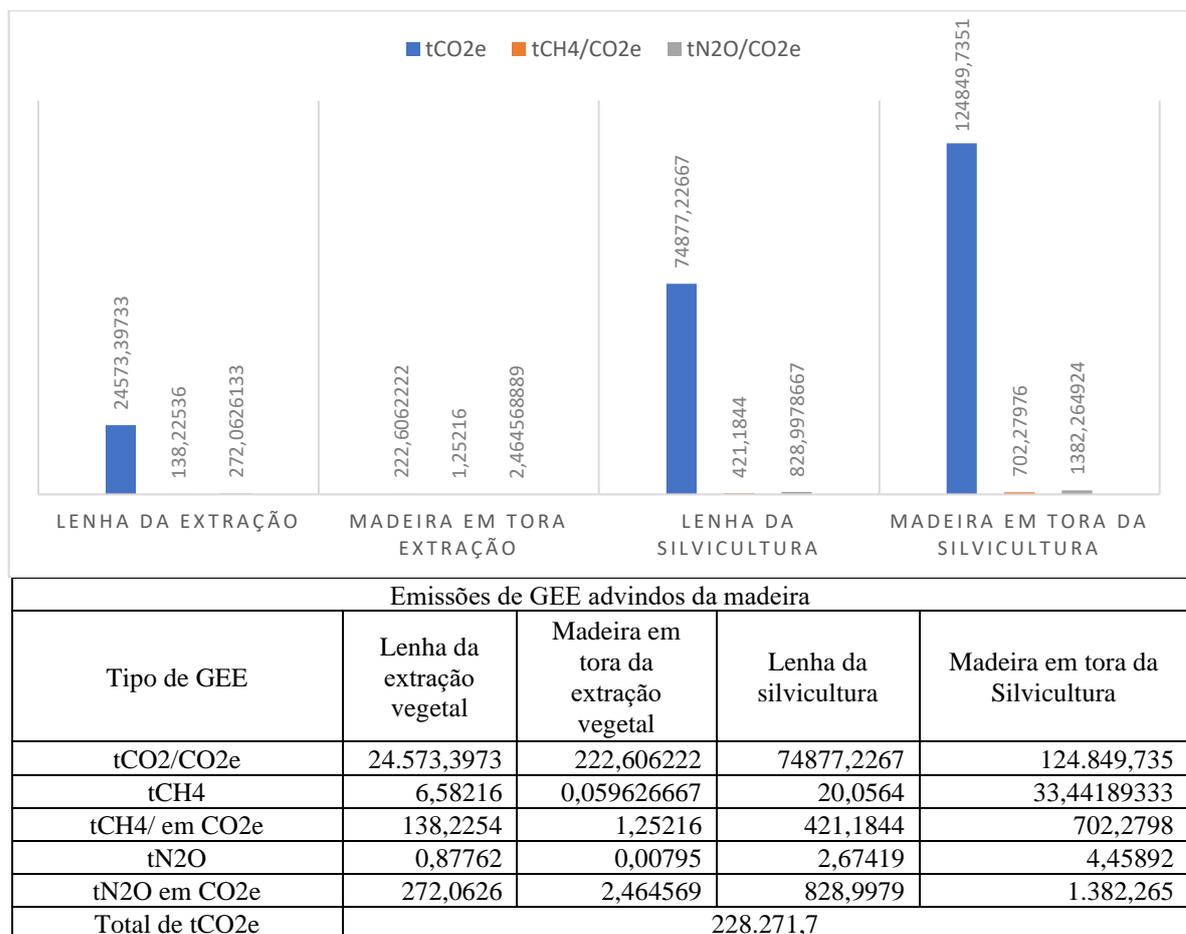
Neste estudo, a fonte de emissão oriundas da madeira foram categorizadas conforme dados disponíveis do IBGE, abrangendo a lenha e madeira em tora provenientes da extração vegetal e da silvicultura.

¹⁹ O uso da madeira e carvão considerados neste inventário foram iguais aos produzidos dentro do território alagoano como especificado na metodologia.

Com base na figura 9, a lenha proveniente da extração vegetal teve uma participação de 11% em relação a quantidade de GEE emitido no setor de energia, enquanto a madeira em tora da extração vegetal contribuiu com menos de 1%. Entretanto, a lenha da silvicultura representou 33% das emissões desse setor e a madeira em tora da silvicultura contribuiu com 56%. Juntas, as emissões de gases de efeito estufa (GEE) provenientes da madeira ou tora de madeira da extração vegetal totalizaram 11% em 2019, enquanto as da silvicultura foram responsáveis por 89% dentro do setor analisado.

Em relação a figura 9 apresentada, a parte superior mostra as comparações da emissão de GEE advindo da utilização da madeira de acordo com a sua origem já convertidos em CO₂e, enquanto a parte inferior (na forma de tabela) é detalhado as emissões por tipo de GEE e seu equivalente em dióxido de carbono para comparações.

Figura 9 – Emissão de GEE advindos da queima da madeira e resíduo de madeira em 2019. Eixo X, origem da madeira. Eixo Y, quantidade de emissão de tCO₂, tCH₄ e tN₂O em tCO₂e respectivamente.



Fonte: Autor, 2024.

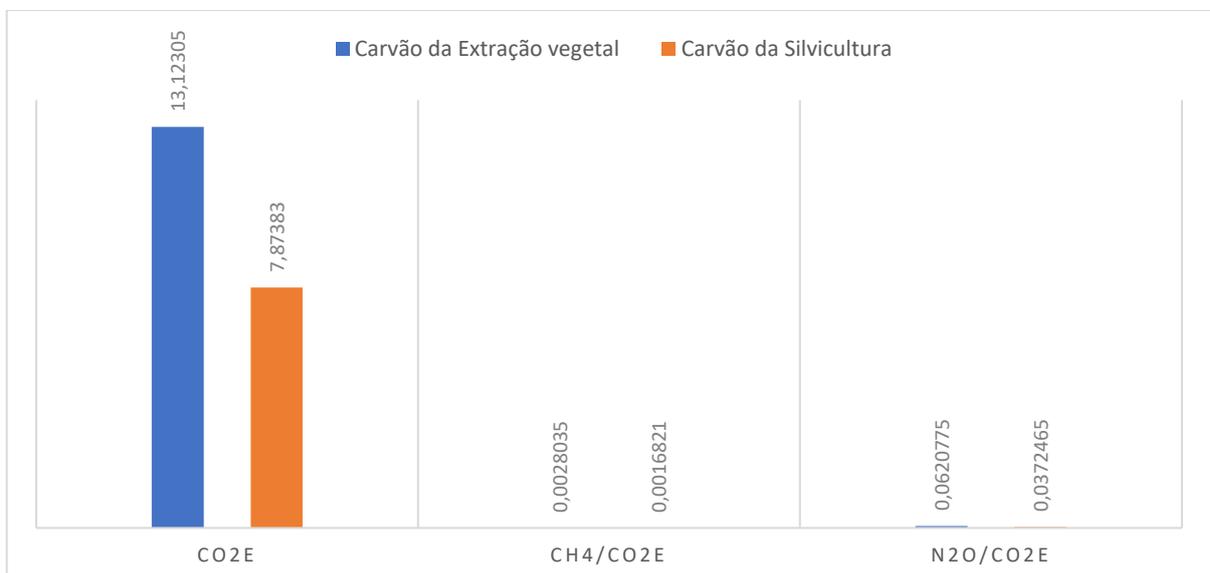
É perceptível que as emissões de CH₄ e N₂O, em CO₂ equivalentes, têm uma contribuição menor em comparação com as de CO₂. Além disso, as emissões da silvicultura são significativamente maiores do que as provenientes da extração vegetal. No entanto, podemos destacar que a silvicultura tende a compensar essas emissões devido ao replantio das culturas utilizadas, ou seja, na maioria dos casos a área retirada para as atividades econômicas tendem a ser reflorestadas, realizando o processo de remoção do carbono da atmosfera (EMBRAPA, 2021).

4.1.2 Carvão

Os dados levantados sobre a utilização de carvão no Estado de Alagoas indicam um total de 8 toneladas, das quais 5 toneladas provêm da extração vegetal e 3 toneladas da silvicultura, conforme os dados do IBGE para o ano de 2019.

A figura 10 ilustra que o carvão oriundo da extração vegetal contribuiu com 63% das emissões de CO₂e, enquanto o carvão da silvicultura representou 37%. Para ambas as origens, foram utilizados os mesmos fatores de emissão. Analisando os dados apresentados na figura 10, entendemos que investir mais na silvicultura poderia ser uma política recomendada para o Estado de Alagoas, visando a mitigação das emissões de GEE.

Figura 10 – Emissão de GEE advindos da queima do carvão em 2019. Eixo X, tipo de GEE. Eixo Y, quantidade de GEE em toneladas de emissão.



Emissões de GEE em advindos do carvão por tipo de Gases e origem (T)		
Tipo de GEE	Carvão da Extração vegetal	Carvão da Silvicultura
CO ₂ /CO ₂ e	13,12305	7,87383
CH ₄	0,0001335	0,0000801
CH ₄ / em CO ₂ e	0,002804	0,001682
N ₂ O	0,0002	0,00012
N ₂ O em CO ₂ e	0,062078	0,037247
Total em CO ₂ e	21,10069	

Fonte: Autor, 2024.

4.1.3 Energia nos Transporte

A nível global, sabe-se que o setor de energia é a maior fonte de emissão de GEE (WRI Brasil, 2020), com o transporte rodoviário sendo um dos principais contribuintes, especialmente em áreas urbanizadas. Neste inventário foram estimadas as emissões totais do setor de energia utilizadas nos transportes em Alagoas no valor de 2,363 MtCO₂e em 2019. Barros (2022) estimou as emissões no valor de 2,424 MtCO₂e para transportes, para o mesmo ano, em Alagoas baseado no balanço energético estadual (BARROS, 2022). Então a diferença entre as estimativas pode estar no método adotado, estimativas com base na compra e venda de combustível. Já as estimativas da SEEG as emissões no setor de energias utilizadas nos transportes em 2019 no Estado foram de 1.658.870,1 tCO₂e ou equivalente a 1,659 MtCO₂e.

Deve-se enfatizar a diferença nas estimativas de emissões advindas dos transportes entre este inventário específico e os dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) para 2019 foi de 704.464,235 tCO₂e. Essa alta discrepância pode ser atribuída a diversas razões, como diferenças metodológicas e na fonte de dados utilizada para mensurar as emissões. Abaixo listamos alguns pontos que podem apontar caminhos para explicar essa diferença:

1. Metodologia de Cálculo e fontes dados.

Este inventário utilizou fatores de emissão específicos e a quilometragem média anual por cada tipo de veículo, ano, tipo de combustível e suas proporções de utilização conforme o ano de fabricação. Este inventário considerou a frota veicular como o total de veículos cadastrado no Ministério dos Transportes (MTR), RENAVAM e IBGE. A metodologia pode variar em relação ao SEEG, que pode ter adotado um método diferente para o recorte temporal ou espacial das fontes para calcular as emissões dos transportes, a exemplo, desconsiderando

determinados veículo que, devido alguma base de dados específica, pode não está rodando mais no território alagoano. Não foi possível encontrar os dados da frota que a SEEG considerou para verificar. O SEEG pode ter adotado uma outra base de dados para mensurar a frota veicular em Alagoas no ano de 2019.

2. Fatores de Emissão

Variações nos fatores de emissão adotados para diferentes tipos de veículos e combustíveis podem contribuir para diferenças nas estimativas de emissões. Estes fatores podem ser atualizados ao longo do tempo ou podem variar dependendo da metodologia de cálculo adotada. Este inventário devido a pouca disponibilidade de fator de emissão e a intensidade de uso para os veículos anteriores ao ano de 1980, arredondou todos os veículos fabricados anteriormente a década de 80 para fabricados antes de 1980 usando para este grupo, os fatores mais possíveis para o ano de 1980. Para os anos pós 1983, os fatores de emissão e a intensidade de uso estão condizentes com os seus respectivos anos de fabricação com base nos dados do PROCONVE consultados na CETESB (2021) e com os Inventários Brasileiros (MMA, 2011; MCT, 2006) Não foi possível consultar detalhes do processo de estimativas na nota metodológica do setor de energia da SEEG para os transportes rodoviários.

Portanto, a diferença observada nas emissões de transportes entre este inventário e o SEEG pode ser explicada por esses fatores acima destacados e que não estão descritos de maneira detalhada na documentação referente a metodologia de cálculo do SEEG (2023).

Fazendo uma comparação proporcional das estimativas deste inventário com o inventário dos transportes rodoviários do Estado de São Paulo de ano base 2019, a cada 889.900 veículos rodoviários o Estado de São Paulo emitiu em média o equivalente a 2.224.461 (CETESB, 2020) enquanto que neste inventário emitiu 135.539 tCO₂ a mais que São Paulo. Uma das possibilidades mais relevantes pode ter sido devido a este inventário ter considerado todas as motocicletas como sendo de 150 cilindrada por falta de dados desta subdivisão de motocicleta que não foi encontrada para Alagoas. Assim como para as subcategorias para caminhões, este sendo utilizado os fatores como sendo todos para o de semipesados como especificado na metodologia.

Outras possibilidades que podem ter influenciado para a diferença desta comparação, por meio das estimativas proporcionais, podem estar relacionadas também as ponderações que

a CETESB fez relacionadas a correções comparadas a outras formas de inventariar conforme apontada nas páginas 114,116 do inventário da CETESB (CETESB, 2019)

A seguir apresenta-se os resultados das emissões advindos dos transportes rodoviários do Estado de Alagoas.

4.1.3.1 – Emissões por tipo de veículos dos transportes rodoviários

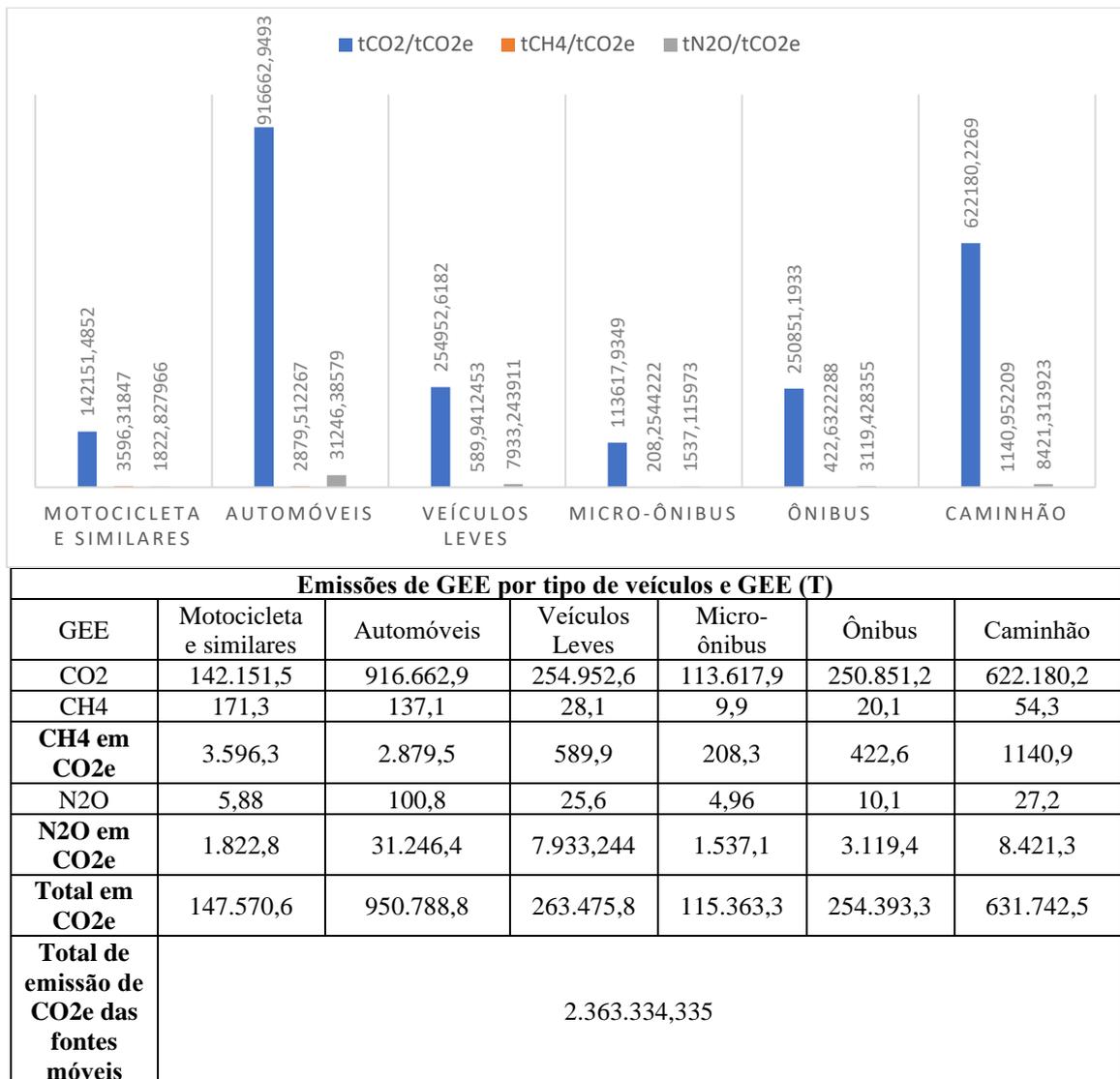
De acordo com a figura 11, a classe dos automóveis é a maior emissora de CO₂, correspondendo a 40% das emissões quando analisado as fontes móveis consideradas neste inventário. Em seguida, temos os caminhões com 27%, os veículos leves 11%, ônibus 11%, as motocicletas com 6% e os micro-ônibus com 5%. Entende-se por veículos leves aqueles veículos automotores destinados ao transporte de pessoas ou carga, com peso bruto total de até 3.500 kg conforme a tabela 9. O mesmo padrão da distribuição em porcentagem é obtido quando os GEE são convertidos em CO₂e. O segundo GEE mais emitido pelos veículos é o N₂O, com os automóveis sendo os principais emissores, seguidos pelos veículos leves e caminhões.

As variações de emissão por tipo de veículo consideram não apenas o quantitativo de cada categoria, mas também o coeficiente de emissão e a intensidade de uso para cada ano de fabricação como ilustrado nas figuras 12 e 13. Comparando-se os fatores utilizados neste inventário, verifica-se que o fator de emissão de CO₂ para automóveis movidos a gasolina aumenta com a idade do veículo, sendo maiores as emissões para os anos de fabricação mais antigos. Em contraste, os fatores de emissão de CH₄ e N₂O para o mesmo combustível diminuem com a modernidade do veículo. Para automóveis movidos a etanol, todos os fatores de emissão diminuem conforme o ano de fabricação é mais recente. Em 2019, o fator de emissão para gasolina era de 184,3 g/km, enquanto para etanol era de 142,9 g/km.

Conforme é possível constatar na tabela 12, quando considerado o fator de emissão de CH₄, automóveis a gasolina tendem a emitir menos do que os movidos a etanol à medida que o ano de fabricação é mais recente. Em 2019, os automóveis mais novos emitiam 0,003 g/km usando gasolina, enquanto os movidos a etanol emitiam 0,023 g/km. A comparação do fator de emissão de N₂O entre gasolina e etanol varia conforme o ano de fabricação do veículo; em alguns anos, etanol emite mais, em outros, gasolina. Em 2019, automóveis a gasolina emitiam

0,02 g/km e os a etanol 0,017 g/km. Para automóveis flex, o fator de emissão é uma média dos fatores dos veículos movidos a gasolina e a etanol.

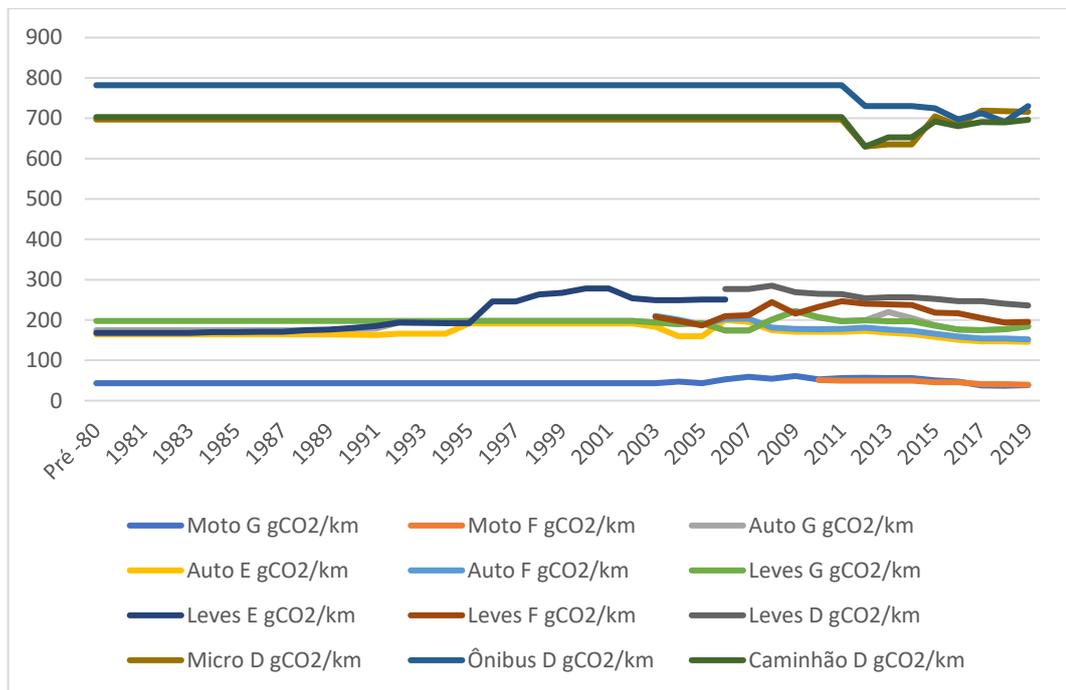
Figura 11 – Somatória anual das quantidades totais de emissões advindos dos combustíveis utilizados nos transportes rodoviários por tipo de veículo e tipo de GEE em 2019. Eixo X, tipo de veículo. Eixo Y emissões de GEE em toneladas.



Fonte: Autor, 2024.

O fator de emissão de CO2 das motocicletas a gasolina variou ao longo dos anos de fabricação, sendo 43 g/km em 1980, atingindo um pico de 60 g/km em 2007, e caindo para 39 g/km em 2019. O fator de emissão para N2O se manteve constante, enquanto o de CH4 diminuiu com a modernidade do veículo. Para motocicletas flex, o fator de emissão diminuiu à medida que o ano de fabricação é mais recente.

Figura 12 - Variação do fator de emissão em gramas de CO₂ a cada ano de fabricação de cada tipo de veículo e tipo de combustível²⁰ da frota de 2019 em Alagoas. Eixo X, ano de fabricação. Eixo Y, quantidade de gramas emitidas,



Fonte: Autor, 2024.

Os fatores de emissão dos veículos leves à gasolina aumentam conforme o ano de fabricação é mais recente, enquanto os fatores de CH₄ e N₂O diminuem. Para etanol, a mesma lógica se aplica, exceto para N₂O, que apresentou aumento nos veículos leves mais novos. Nos veículos flex, o fator de emissão de CO₂ aumenta para veículos mais recentes, CH₄ tende a diminuir e N₂O apresenta um leve aumento. Para veículos a diesel, as emissões de CO₂ diminuem com a modernidade do veículo, enquanto as de CH₄ aumentam e as de N₂O se mantêm constantes.

Os fatores de emissão de CH₄ e N₂O para micro-ônibus e ônibus são considerados constantes ao longo dos anos de fabricação. O fator de emissão de CO₂ aumenta levemente para micro-ônibus e ônibus mais novos. Para caminhões, a emissão de CO₂ diminui com a modernidade do veículo, enquanto as emissões de CH₄ e N₂O se mantêm constantes ao longo da série de fabricação, conforme é possível evidenciar na tabela 12.

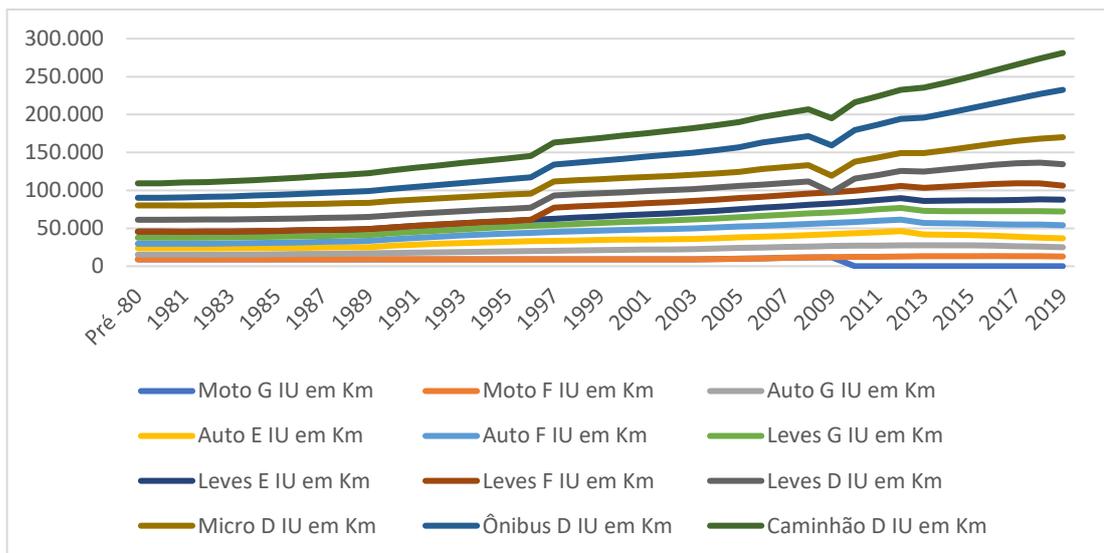
Ainda em relação a figura 12, percebe-se que as categorias ônibus, caminhão ou microônibus emitem mais de 3x CO₂ do que os demais veículos e que os veículos que emitem menos CO₂ (18 vezes menos do que os ônibus). Os caminhões emitem mais de 3x CO₂ por km

²⁰ Moto – motocicleta; auto – automóvel; leves - comerciais leves; G – Gasolina; E – Etanol; F – Flex; D – diesel; gCO₂/km – gramas por quilômetro rodado.

rodado do que os automóveis e têm uma intensidade de uso 3x maior em relação aos automóveis; mas, os automóveis no todos emitem mais CO2 devido a grande quantidade em operação em comparação com a quantidade de caminhões em 2019. A mesma lógica é possível afirmar comparando os automóveis com ônibus e microônibus.

Analisando a intensidade de uso (IU) dos veículos, no geral, quanto mais recente o ano de fabricação maior considera-se a intensidade de uso. A exceção vai para a intensidade de uso dos automóveis que usam gasolina, pois, nos últimos sete anos vem apresentando decréscimos, assim como para os veículos leves e motocicleta que utilizam flex em 2019, conforme a figura 13.

Figura 13 - Variação da intensidade de uso em quilometro por ano a cada ano de fabricação do veículo em cada categoria veicular e utilização de combustível²¹. Eixo X, ano de fabricação. Eixo Y, quantidade de quilômetros andado durante um ano



Fonte: Autor, 2024.

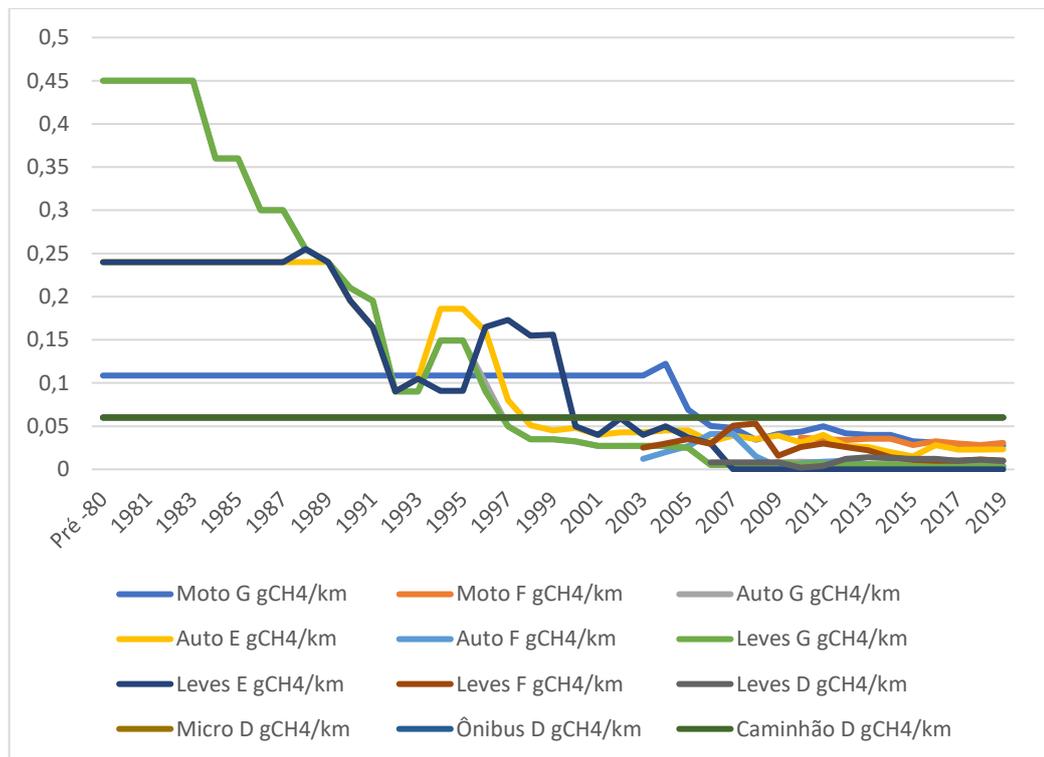
Uma comparação entre as emissões de CH4 a cada km rodado por tipo de veículo mostra que as emissões dos automóveis e veículos leves que utilizam gasolina são quase 2x maiores do que os micro-ônibus, ônibus ou caminhão. Porém à medida que o ano de fabricação é mais recente as disparidades diminuem. Conforme mostrado na figura 14.

Na comparação das emissões de N2O por tipo de veículo, combustível e ano de fabricação temos que os caminhões, ônibus e micro-ônibus possuem os mesmos coeficientes

²¹ Moto – motocicleta; auto – automóvel; leves - comerciais leves; G – Gasolina; E – Etanol; F – Flex; D – diesel; IU em Km– Intensidade de Uso em quilômetros rodados.

de emissão. E cada um deles emite 15x mais do que moto, 6x mais que automóvel e veículo leve movidos à gasolina, 4x mais que automóvel a etanol. No geral o coeficiente de emissão por km rodado aumentou na medida em que o ano de fabricação é mais recente, conforme a figura 15.

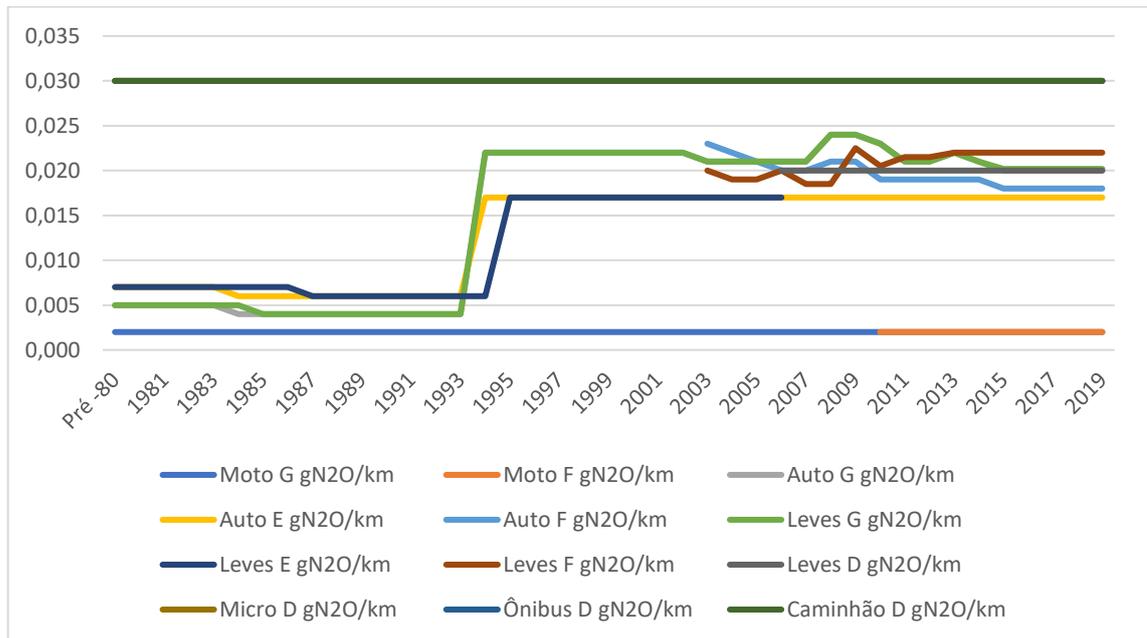
Figura 14 - Variação do fator de emissão em gramas do CH₄ em cada ano de fabricação para cada categoria veicular e tipo de combustível utilizado em 2019 em Alagoas. Eixo X, variação da quantidade de emissão conforme o ano de fabricação. Eixo Y, quantidade do fator de emissão em gramas.



Fonte: Autor, 2024.

Conforme apontam os dados apresentados, constata-se que, de fato, os automóveis são os maiores responsáveis pelas emissões de GEE, pois, embora não apresente os maiores coeficientes de emissões de GEE e nem as maiores intensidades de uso é a categoria que, devido a considerável alta frota na região de estudo, acaba emitindo em maior intensidade.

Figura 15 - Variação dos fatores de emissão em gramas do N₂O por tipo de veículo, combustível em cada ano de fabricação da frota de 2019 em Alagoas. Eixo X, ano do fator de emissão veicular. Eixo Y, emissão de N₂O



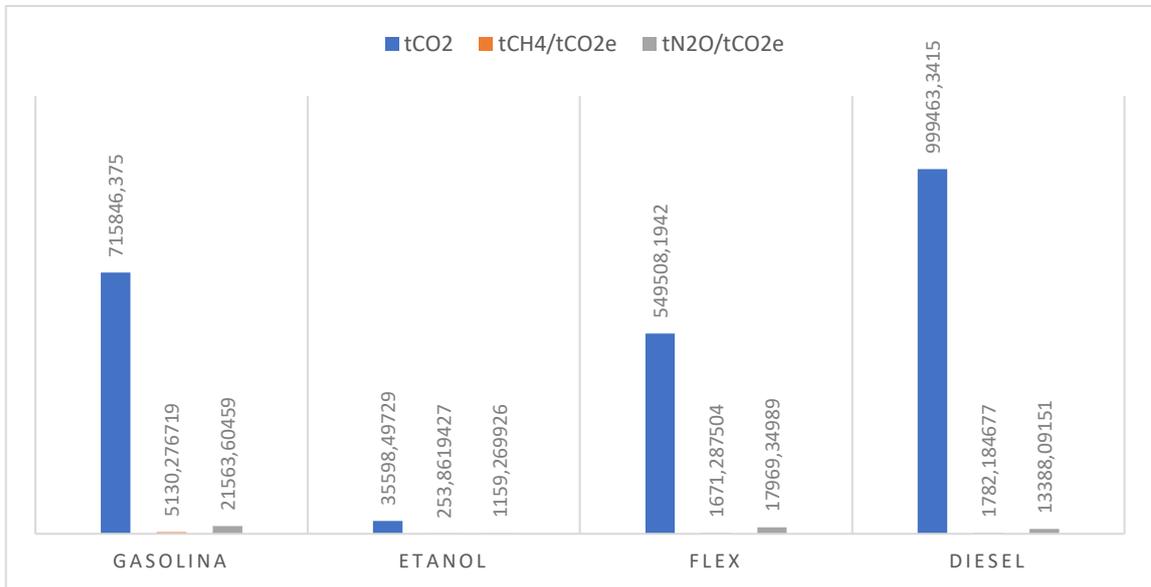
Fonte: Autor, 2024.

Uma forma de minimizar as emissões advindas dos transportes seria aplicar políticas que incentive um maior uso dos coletivos como ônibus ou micro-ônibus em detrimento dos automóveis. Como também constatado e apresentado no inventário de fontes móveis veiculares para Maceió por Barbosa (2022), onde realizou análise atual e cenários futuros das emissões de gases poluentes, os automóveis transportam, no máximo, 5 pessoas enquanto ônibus mais de 50 pessoas sentadas impactando nas emissões dessas fontes. Em 2019 tinha-se 374.169 automóveis enquanto a frota de ônibus era de 7.058, ou seja, para cada 1 ônibus existe aproximadamente 53 automóveis, sugere-se a busca por equilíbrio que minimize as emissões das fontes móveis em Alagoas na adoção de meios de transporte de massa.

4.1.3.2 - Emissões por tipo de combustível usados nos transportes rodoviários

Na figura 16 é possível constatar a contribuição de cada tipo de combustível para as emissões bem como a soma da quantidade de cada tipo de GEE no ano de 2019 em Alagoas. Quando as comparações são realizadas de acordo com o combustível utilizado, o diesel lidera com 43% das emissões, ainda que exista mais veículos movidos a gasolina do que movidos a diesel. Em relação aos demais tipos de combustíveis, gasolina 31%, flex 24% e etanol 2% complementam com estas contribuições nas emissões.

Figura 16 – Total de emissões em toneladas dos advindos combustíveis utilizados nos transportes rodoviários por tipo de combustível e tipo de GEE em 2019. Eixo X, tipo de combustível. Eixo Y quantidade de emissão em tCO₂e.



Emissões de GEE por tipo de combustível em toneladas				
	Gasolina	Etanol	Flex	Diesel
CO ₂	715.846,4	35.598,5	549.508,2	999.463,3
CH ₄	244,3	12,1	79,6	84,9
CH ₄ em CO ₂ e	5.130,3	253,86	1.671,29	1.782,2
N ₂ O	69,56	3,74	57,9	43,2
N ₂ O em CO ₂ e	21.563,6	1.158,95	17.963,6	13.388,1
Total de CO₂e	742.540,3	37.011,31	569.143,03	1.014.633,62

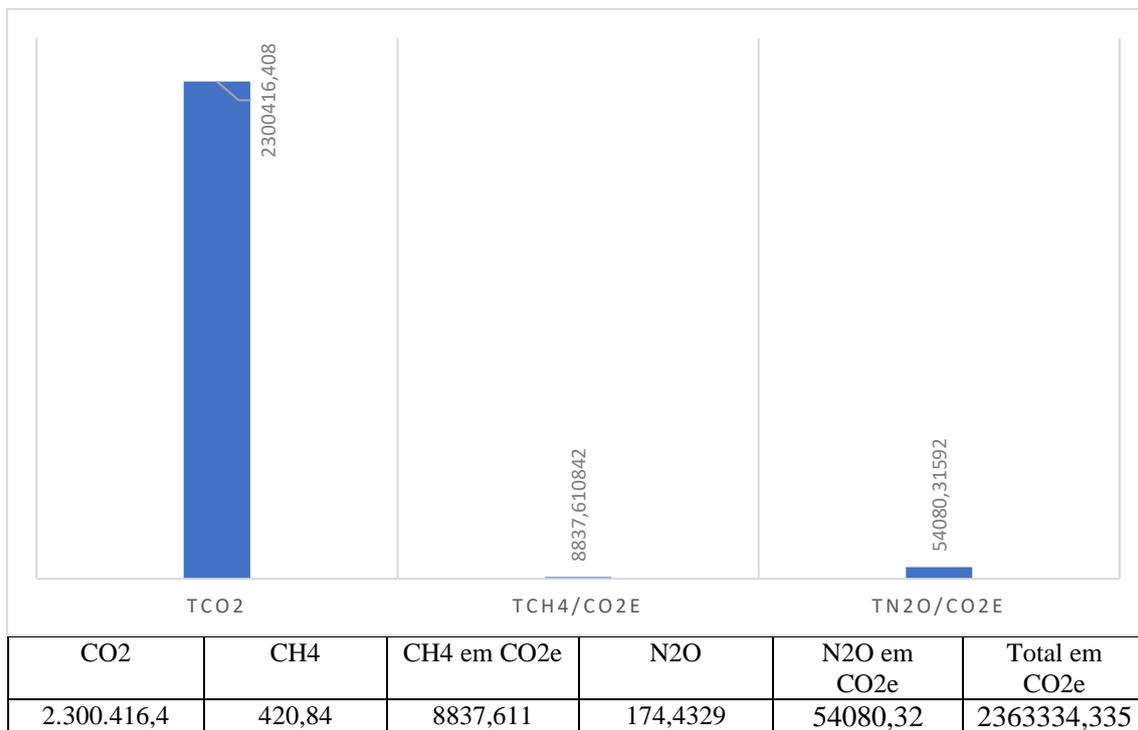
Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Os veículos movidos a Diesel corresponderam a 71.469,46 veículos, enquanto os movidos a gasolina foram 381.065,71 (aproximadamente cinco vezes mais do que o diesel). Porém, a predominância das emissões advindas do diesel se dá devido ao fator de emissão e a intensidade de uso que são maiores do que os demais combustíveis. Ou seja, os veículos movidos a diesel conseguem ultrapassar as emissões dos veículos movidos a gasolina devido a seus fatores de emissão do CO₂ serem 6 a 7 vezes mais do que os movidos a gasolina, os movidos a diesel também têm uma maior intensidade de uso. 25.906,48 dos veículos usam etanol e esse combustível correspondeu a apenas 2% das emissões de CO₂e.

4.1.3.3 – Emissões por tipo de Gases

Comparando as emissões por tipo de GEE a maior parte encontra-se emitida na forma de CO₂ (97%) enquanto N₂O emite 2% e o CH₄, 1%. Então os transpores essencialmente emitem CO₂, ainda que seja respeitada as respectivas potências de aquecimento (convertendo estes em CO₂e) dos gases CH₄ e N₂O como é possível verificar na figura 17.

Figura 17 - Emissão de GEE estufa em tonelada por tipo de GEE no ano de 2019. Eixo X, tipo de GEE. Eixo Y, quantidade de emissão de GEE em tCO₂e.



Fonte: Autor (2024)

4.2. AFOLU

O termo AFOLU abrange atividades nos setores de florestas, agricultura, criação de animais e outros usos do solo (do inglês, Agriculture, Forestry and Other Land Use). Neste estudo, foram quantificadas as emissões de GEE provenientes da agricultura, pecuária e informamos ainda os estoques de CO₂ em unidades de conservação.

Conforme destacado por Naidhig (2021), as emissões de GEE do setor de Mudanças de Uso da Terra e Agropecuária corresponderam a 69% do total em 2019 no Brasil. Neste mesmo estudo, utilizando dados do SEEG (2019) para o Estado de Alagoas, esse setor foi responsável por mais de 45,7% das emissões de GEE no mesmo ano.

A seguir serão apresentados os subsetores calculados para as emissões AFOLU no Estado de Alagoas em 2019.

4.2.1 Florestas das Unidades de Conservação

Não foram calculadas as emissões por queimadas neste inventário devido a limitação de dados sobre hectares queimados e tempo no desenvolvimento deste documento. Entretanto, será relatado aqui os estoques de CO₂ das Unidades de Conservação (UC) no território alagoano com o objetivo de fornecer informações para análises futuras devido a importância de entender as dinâmicas florestais em Alagoas. Pois, segundo estudos recentes as florestas sequestram atualmente cerca de duas vezes mais do que emitiram entre 2001 e 2019 (WRI BRASIL, 2021). O que corrobora ainda mais sobre a importância das florestas como sumidouros de CO₂ e de entendermos mais sobre o estoque de carbono nas Unidades de Conservação (UCs) alagoano como forma de entender melhor a contribuição delas no combate as emissões de GEE.

No território do Estado de Alagoas, todas as Unidades de Conservação (UCs) foram mapeadas para mensurar o estoque de carbono nelas armazenado. Os resultados foram apresentados categorizando as UCs de acordo com o tipo (privado ou público) e o domínio biogeográfico.

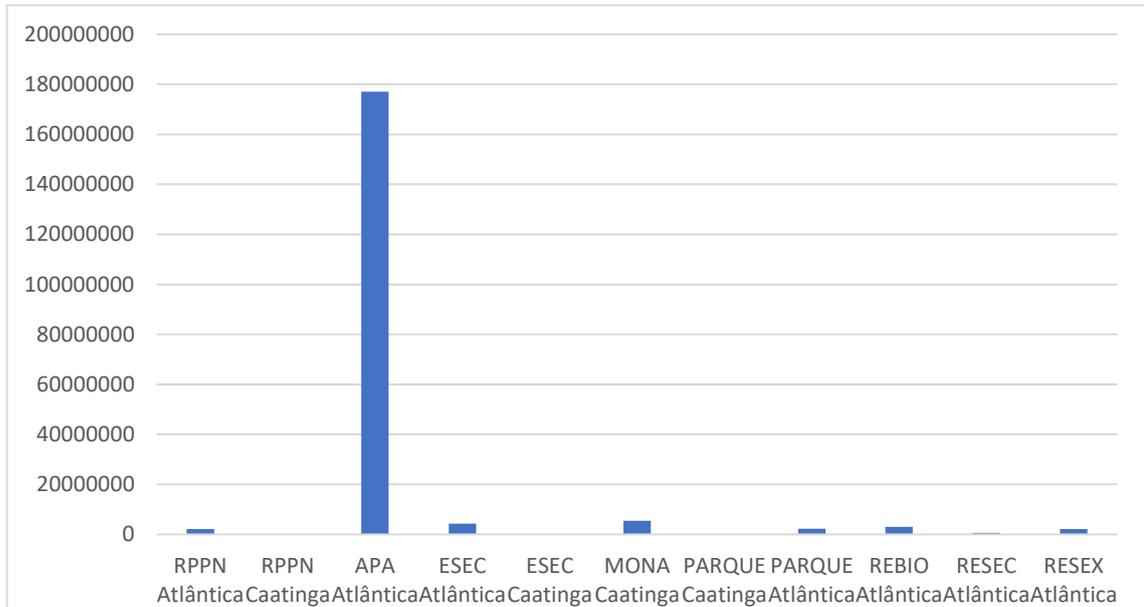
4.2.1.1 Estoque de carbono em CO₂ por tipo de UC e Bioma

Neste tópico, são apresentados os estoques de CO₂ armazenados nas Unidades de Conservação (UCs) e nos biomas dentro do território de Alagoas. Destaca-se que as Áreas de Proteção Ambiental (APAs) da Mata Atlântica são notáveis por armazenar grandes quantidades de GEE (USP ESALQ, 2013). Enfatiza-se novamente que a análise deste inventário concentrou-se exclusivamente no cálculo do armazenamento de CO₂ neste contexto e não nas emissões de GEE destas áreas.

As proporções de estoque de CO₂ encontradas para cada tipo de UC foram as seguintes: 90% nas APAs (Áreas de Proteção Ambiental) com mata Atlântica, 3% na MONA (Monumento Natural) Caatinga, 2% nas ESECs (Estações Ecológicas) e na REBIO (Reservas Biológicas) ambas Atlântica, RESEX (Reservas Extrativistas), PARQUE (Parques) e RPPN (Reservas Particulares do Patrimônio Natural) ambas de bioma Atlântica e menos de 1% nas restantes das UCs analisadas. Ao desconsiderar o tipo de UC e não diferenciar entre Mata Atlântica e

Caatinga para o CO2 estocado, a distribuição é a seguinte: APAs representam 93%, ESEC e REBIO 2% cada, RPPN, PARQUE e RESEX 1% cada, e as demais categorias somam menos de 1% como é mostrado na figura 18.

Figura 18 – Estoque de CO2 em toneladas por tipo de UC e bioma em Alagoas. RPPN (Reserva Particular do Patrimônio Natural); APA (Área de Proteção Ambiental); ESEC (Estação Ecológica); MONA (Monumento Natural do Rio São Francisco); REBIO (Reserva Biológica de Pedra Talhada); RESEC (Reserva Ecológica); SEREX (Reserva Extrativista Marina da Lagoas do Jequiá). Eixo X, tipo de UC. Eixo Y, quantidade de estoque de CO2e em toneladas.



Estoque de carbono em tCO2 por tipo de UC e Bioma em 2019 em toneladas			
Tipo de UC	Quantidade de CO2 por tipo de UC em 2019 (T)	Total do estoque de CO2 em 2019 (T)	Total do estoque de CO2e em 2019 (T)
RPPN Atlântica	2189627,007	197.189.494	197.189.494
RPPN Caatinga	26361,932		
APA Atlântica	177049706,600		
ESEC Atlântica	4270994,305		
ESEC Caatinga	28166,369		
MONA Caatinga	5513712,546		
PARQUE Caatinga	15084,715		
PARQUE Atlântica	2313973,942		
REBIO Atlântica	3071801,413		
RESEC Atlântica	602474,404		
RESEX Atlântica	2107590,786		

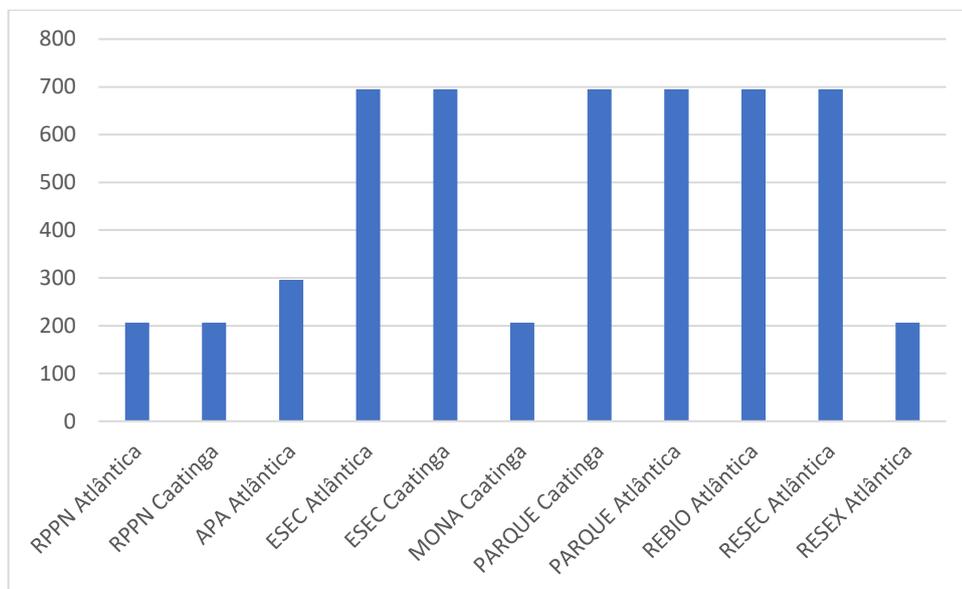
Fonte: Autor (2024)

É notável que as APAs se destacam no armazenamento de CO2 devido a área destas em comparação com as outras UCs. Elas abrangem aproximadamente 597.602,52 hectares, 22x maior que a área da segunda maior estocadora (MONA Caatinga) com 26.723,65 hectares, sendo que as duas unidades de conservação possuem os mesmos coeficientes de estocagem (Almeida, 2011).

Em relação ao tipo de bioma as UCs da Caatinga abrangem um total de 26.913,647 hectares, correspondendo a 4%, enquanto as UCs da Mata Atlântica correspondem a 96% do total de 660.104,13 hectares de UCs.

Fazendo uma análise comparativa da capacidade de armazenamento de CO₂ considerando os fatores de emissão utilizados neste inventário em cada unidade de armazenamento de 1 hectare revela que, em ordem, as ESECs, PARQUES, REBIOs e RESECs possuem as maiores capacidades de estocar CO₂ com o mesmo fator utilizado. A APA ocupando o segundo maior fator para estocar, enquanto as RPPNs, MONA Caatinga e as RESEX Atlântica retém menor quantidade de CO₂ conforme a figura 19.

Figura 19 – Capacidade de estocagem em toneladas de CO₂ em um hectare por tipo de UC. Eixo X, tipo de UC. Eixo Y, quantidade de estoque de tCO₂ por hectare.



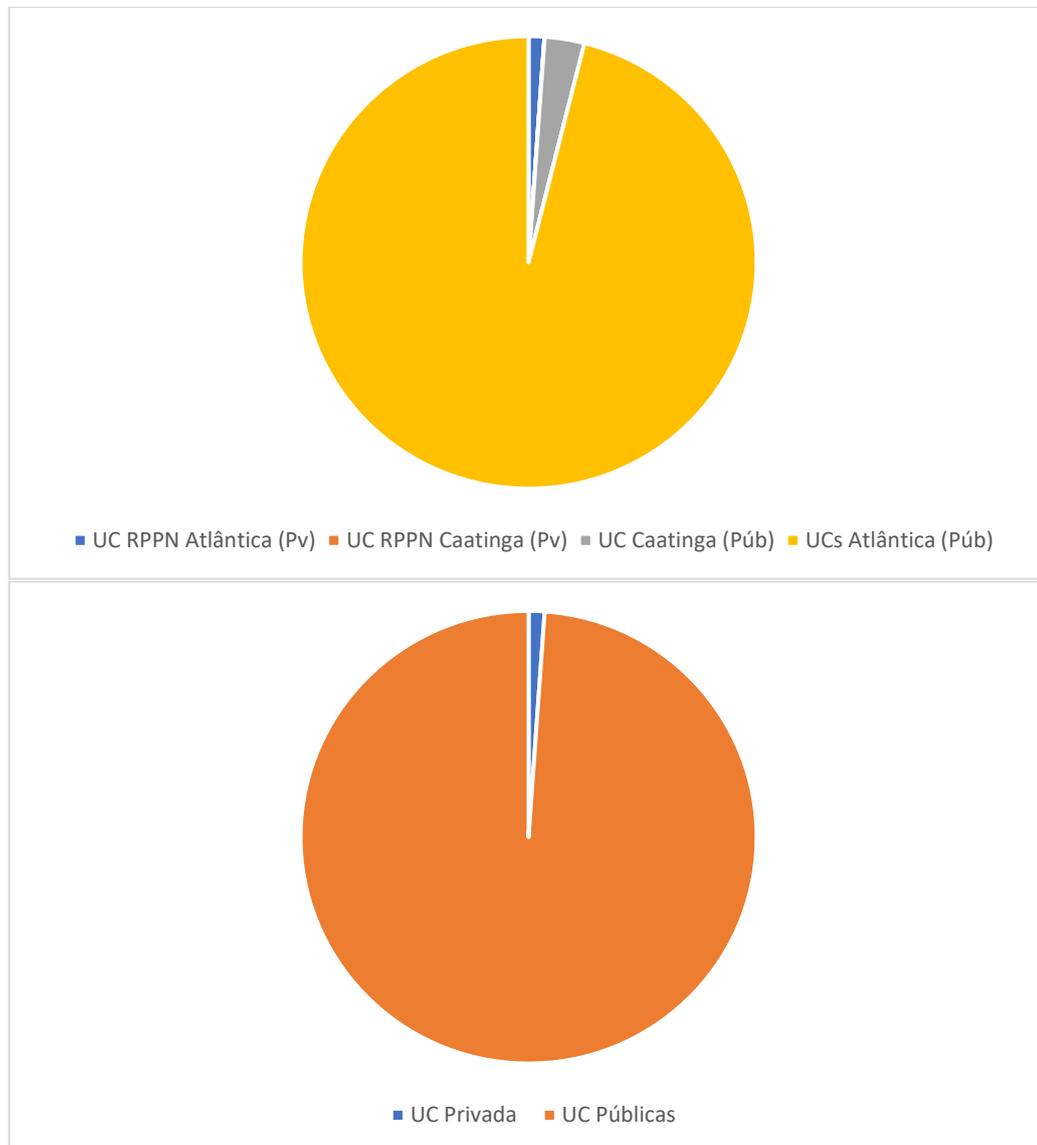
Fonte: Autor, 2024

A figura 20 apresenta os estoques de CO₂ comparando UCs públicas e privadas e tipo de vegetação. As unidades de conservação públicas destacam-se significativamente, evidenciando a importância das iniciativas governamentais em Alagoas para garantir e expandir UCs devido a sua grande capacidade de estocagem de carbono, contribuindo assim com políticas de carbono neutro no estado.

Do total de carbono estocado, 96% estão em UCs da Mata Atlântica públicas, 3% em UCs públicas da Caatinga, 1% em UCs privadas da Mata Atlântica, e menos de 1% em UCs

privadas da Caatinga. Em resumo, 99% do carbono armazenado nas unidades de conservação está em unidades públicas.

Figura 20 - Estoque de toneladas de CO2 por UCs Pública ou Privada e tipo de vegetação.



Fonte: Autor (2024)

4.2.2 Emissões de GEE da Agricultura

Em 2019, Alagoas foi o 17º maior estado produtor de eucalipto do Brasil, registrando uma produção de 18.428 hectares. incluindo a cultura do eucalipto nas emissões brutas as emissões de GEE da agricultura 6.270.118,9 toneladas, contribuindo com um aumento de mais de 5x em relação as demais culturas aqui mensuradas como pode ser visto na tabela 12. No

entanto, destacamos ainda que pesquisas apontam que o eucalipto é capaz de armazenar grandes quantidades de carbono na parte aérea e principalmente no solo o que irá contribuir para um menor impacto líquido nas concentrações de CO₂ relacionadas à esta cultura (TORRES, 2015; BRIANEZI, 2019; COSTA, 2022; RIBEIRO, 2023).

Tabela 12 – Emissões de GEE em toneladas advindos da agricultura por tipo de cultura e gás no Estado de Alagoas.

Emissões de GEE por tipo de gás e cultura em toneladas					
Cultura	tN ₂ O		tN ₂ O em tCO ₂ e		Total de tCO ₂ e
Abacaxi	19,3935		6011,984		846.758,5
Abacate	0,608961		188,778		
Açaí	0,202987		62,926		
Algodão	0,899727		278,9152		
Amendoim	12,47548		3867,398		
Banana	47,66356		14775,7		
Batata Doce	23,60685		7318,123		
Cana de açúcar	1671,889		518285,7		
Castanha	4,323076		1340,154		
Coco	117,2278		36340,61		
Fava	3,176474		984,7068		
Feijão (todas as cores)	158,4012		49104,39		
Fumo	78,90163		24459,51		
Goiaba	2,397442		743,207		
Laranja	67,48498		20920,34		
Limão	2,07376		642,8656		
Mamão	3,982936		1234,71		
Mandioca	203,2285		63000,83		
Manga	7,631217		2365,677		
Maracujá	7,762885		2406,494		
Melancia	6,034751		1870,773		
Melão	0,427919		132,6548		
Milho	211,913		65693,04		
Pimenta	1,486743		460,8904		
Soja	17,23196		5341,907		
Sorgo	2,139594		663,274		
Tangerina	0,790004		244,9012		
Tomate	0,86681		268,711		
Cultura	CO ₂	CH ₄	CH ₄ em CO ₂ e	N ₂ O	N ₂ O em CO ₂ e
Arroz inundado	----	601,6	12633,6	16,5023	5115,713
Eucalipto	5423360,4				
Total em CO ₂ e					6.270.118,9

Fonte: Autor, 2024.

Os estudos apontam que apesar de todas as emissões advindas da fertilização nitrogenada, calagem bem como as emissões realizadas para a produção do eucalipto, ainda sim ele contribui com um salto líquido positivo para estocar carbono e a depender do espaçamento

adotado pelo cultivo pode contribuir para mais ou menos neste salto positivo para estocar CO₂e (ROCHA, 2017; BRIANEZI, 2019; COSTA, 2022; RIBEIRO 2023). Por este motivo as emissões advindas do eucalipto serão apresentadas separadamente dos outros resultados na tentativa de dá um passo a mais para futuras possibilidades de análises. As emissões provenientes da agricultura totalizaram 0,8467585 MtCO₂e, conforme a tabela 12.

Com base na tabela percebe-se que o eucalipto foi mensurado apenas para emissões de CO₂, enquanto o arroz para CH₄ e N₂O, e as demais culturas foram mensuradas apenas para N₂O. O eucalipto ocupou uma área total de 18.428 hectares, com um fator de emissão de 294,3 toneladas de CO₂ por hectare. O arroz foi plantado em 3.008 hectares e teve um coeficiente de emissão de 0,2 tCH₄ e 0,005486 tN₂O por hectare. As demais culturas, com uma área total de 487.451 hectares, emitiram 0,005486 toneladas de N₂O por hectare.

O resultado das emissões totais variou conforme as diferentes culturas agrícolas analisadas, mas deve-se considerar que, com exceção do arroz e a do Eucalipto, foram usados os mesmos fatores de emissão para o N₂O nas demais culturas. O que, portanto, difere entre essas demais culturas analisadas, acaba sendo a quantidade da área plantadas para cada uma.

4.2.2.1 Emissões de GEE da Agricultura desconsiderando a cultura do eucalipto

Desconsiderando a cultura do eucalipto, percebe-se que o cultivo da cana de açúcar se destaca com 61% das emissões de GEE, seguidos respectivamente pela cultura do milho com 8%; mandioca com 7%; feijão com 6%; o coco com 4%; o fumo com 3%; o arroz inundado, a banana e a laranja com 2% cada, Abacate, batata doce e a soja com 1% cada. As demais culturas analisadas representam menos de 1% das emissões. Além disso, se categorizarmos as fontes de emissões entre culturas temporárias e permanentes, observamos que 97% das emissões vieram das culturas temporárias e 3% das culturas permanentes.

Os resultados encontrados indicam uma diferença significativa nas estimativas de emissões agrícolas entre este inventário, que estimou em 0,85 MtCO₂e e os dados do SEEG que estimou em aproximadamente 0,12 MtCO₂e, para o estado de Alagoas em 2019. Destaca-se abaixo alguns pontos de possível discrepância e seus valores para comparação:

1. Emissões agrícola deste Inventário

Foram contabilizadas somente as emissões de CH₄ e N₂O em CO₂e;

Neste inventário as emissões agrícolas foram de 846.758,5 tCO₂e, sendo que estas emissões foram mensuradas a partir do cultivo das culturas e não da queima de resíduos agrícola. Além do cultivo do arroz foram mensuradas o cultivo da cana de açúcar e de outras 26 culturas entre as permanentes e as temporárias. Onde apenas a cana de açúcar emitiu 518.285,7 tCO₂e.

As emissões de CH₄ em 2019 totalizaram neste inventário 12.633,6 tCO₂e o que equivale a 0,126 MtCO₂e.

2. Dados do SEEG

Segundo o SEEG, as emissões totais incluíram a queima de resíduos agrícolas e o cultivo de arroz obtendo um total de emissão de 120.519,00 toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂e). Apresentou-se o valor de 916.698,5 para solos manejáveis, mas não foi possível identificar até o termino deste inventário o que seria propriamente da atividade agrícola e o que seria propriamente da atividade pecuária.

Nas estimativas da SEEG para 2019, não foram possíveis evidenciar as culturas específicas para mensurar as emissões do cultivo das demais culturas.

Com base nas informações da nota metodológicas da agropecuária da SEEG (2023), foram mensuradas para o cultivo do arroz apenas as emissões de CH₄.

3. Emissões de Cultivo de Arroz

Neste inventário, as emissões de cultivo de arroz foram de 17.749,31 tCO₂e. Em contrapartida, no SEEG, as emissões de cultivo de arroz foram de 22.150,70 tCO₂e. Porém analisando a nota metodológica do setor agropecuária da SEEG (2023) percebe-se que o nível de detalhamento dos dados bem como os de suas etapas de plantio é superior ao deste inventário se encaixando por conta das precisões dos dados comparado ao tier 2 do IPCC (2006).

4. Possíveis Causas da Diferença

- Demais Culturas Agrícolas: o SEEG pode não ter considerado outras culturas e práticas agrícolas que foram consideradas neste inventário.
- Resíduos Agrícolas: este inventário não quantificou as emissões advindos dos resíduos agrícolas e nem da mudança do uso do solo.
- Coeficientes de Emissão: outra possibilidade é que o SEEG e o inventário tenham utilizado coeficientes de emissão diferentes para calcular as emissões de cada tipo de cultura. Variações nos coeficientes podem resultar em diferenças nas estimativas finais.

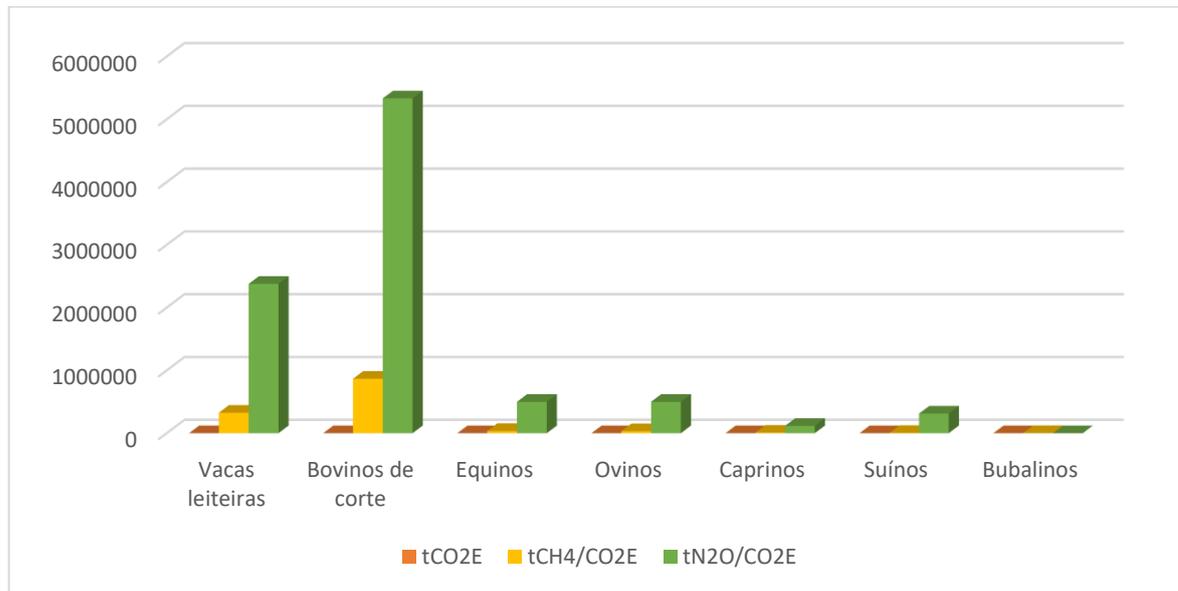
4.2.3 Emissão de GEE advindos da pecuária

O setor da pecuária foi responsável pela emissão de 10.409.282,43 tCO₂e (10,41 MtCO₂e) de GEE no estado alagoano em 2019. A criação do bovino de corte correspondeu a 60% das emissões, seguidos pela criação de vacas leiteiras com 26%, equinos e ovinos com 5% cada, suínos com 3%, caprinos com 1% e bubalinos (búfalos) com menos de 1% conforme podemos observar através da figura 21.

Com base nas figuras 22 e 23, percebe-se que a diferença entre as estimativas de emissões de GEE por tipo de fonte e gás com os deste inventário pode ter ocorrido devido às diferenças nos coeficientes de emissão, mas principalmente, nos números totais de cabeças para cada espécie. Pois, ao considerar apenas o coeficiente para poder analisar o poder de emissão de cada espécie, observamos que as vacas leiteiras têm um poder maior de emissão para o CH₄ emitem 33% se comparado à dos outros tipos de espécies, enquanto os bubalinos emitem 29%, os bovinos de corte 22%, seguidos pelos equinos com 10%, ovinos e caprinos com 3%, e os suínos com 1%, evidenciado na figura 22.

Isso significa que, avaliando apenas a emissão de CH₄, as vacas leiteiras emitem 1,5 vezes mais que o gado de corte, 62 vezes mais que os suínos, 12,5 vezes mais que os ovinos e caprinos, e mais de 3 vezes mais que os equinos. Cada animal do gado de corte tem o potencial de emitir 42 vezes mais CH₄ em comparação com um suíno. Portanto, apesar de Alagoas apresentar mais ovinos do que vacas leiteiras, as vacas leiteiras emitiram mais CH₄ devido ao maior número de cabeças. Os bubalinos representam menos de 1% das emissões de CH₄, pois seu rebanho é o menor, embora tenham o segundo maior coeficiente de emissão de CH₄ por cabeça, conforme ilustrado na figura 22.

Figura 21 – Emissões de GEE em toneladas de CO₂e por tipo de criação de animais e GEE em Alagoas em 2019. Eixo X, tipos de animais. Eixo Y, quantidade de emissões em tCO₂e em 2019.

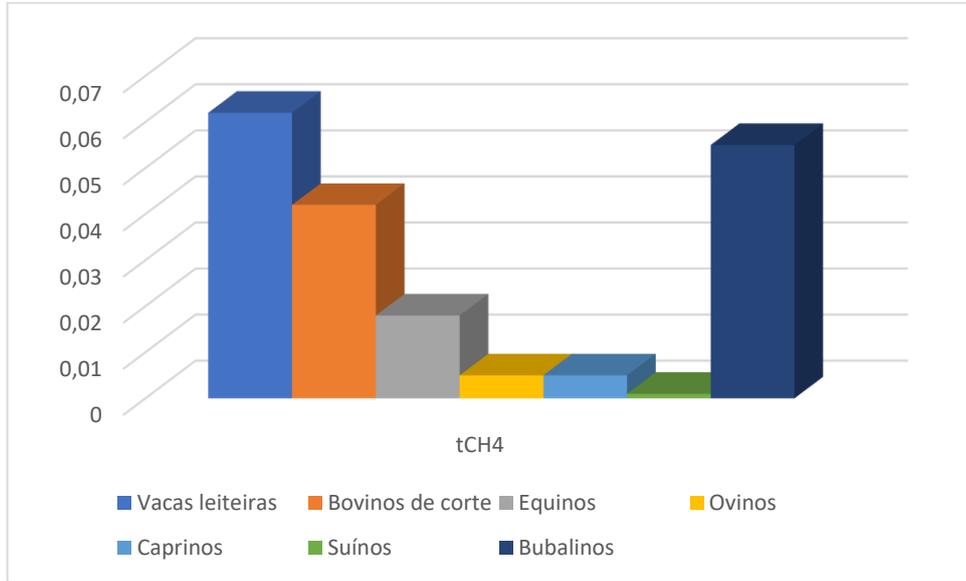


Emissões de GEE em CO ₂ e advindos da criação de animais					
Fonte de GEE	tCH ₄	tN ₂ O	tCH ₄ /CO ₂ E	tN ₂ O/CO ₂ E	Total em tCO ₂ e
Vacas leiteiras	15.530,8	7.671,4	326.145,8	2.378.146,4	2.704.292,2
Bovinos de corte	41281,7	17200,72	866.916,0	5.332.221,7	6.199.137,7
Equinos	1.656,5	1.610,4	34.785,5	499.235,6	534.021,1
Ovinos	1.535,2	1.611,997	32.239,9	499.719,0	531.959,0
Caprinos	357,9	375,8	7.516,3	116.503,0	124.019,3
Suínos	143,5	1.004,8	3.014,3	311.481,8	314.496,1
Bubalinos	64,625	-	1.357,125	-	1.357,125
Total	60.570,24	29475,19	1.271.974,998	9.137.307,43	10.409.282,43

Fonte: Autor, 2024.

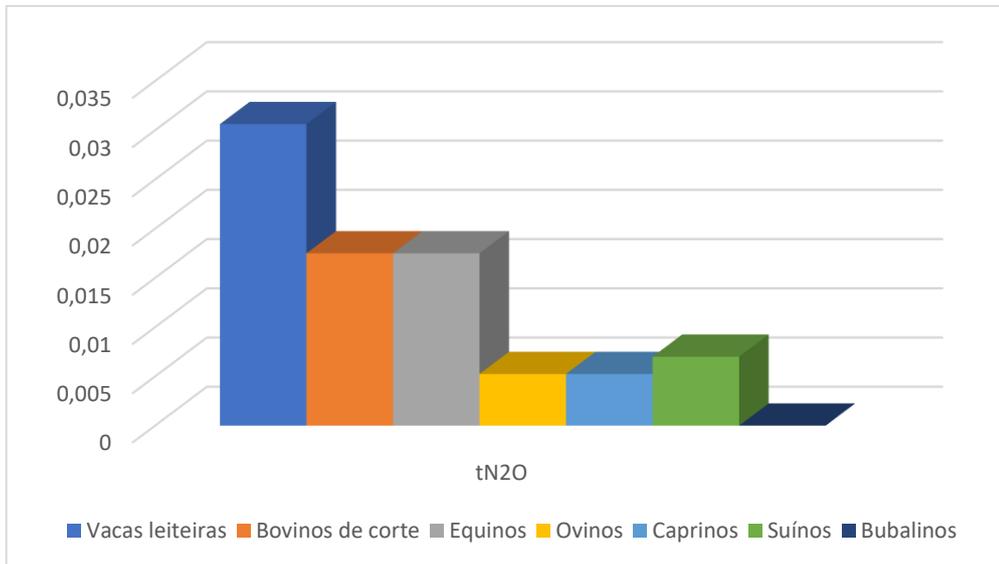
Se compararmos a capacidade de cada tipo de fonte pecuária para emitir N₂O, as vacas leiteiras emitem quase 2 vezes mais que os bovinos de corte e os equinos, quase 6 vezes mais que os ovinos e caprinos, e mais de 4 vezes mais que os suínos. Nesse sentido, as vacas leiteiras também emitem mais N₂O do que os ovinos devido ao fator de emissão por cabeça. Os bovinos de corte têm uma participação nas emissões de gases de efeito estufa quase 4 vezes maior do que as vacas leiteiras devido ao maior número de cabeças, conforme pode ser evidenciado na figura 23.

Figura 22 – Coeficiente de emissão em tonelada CH4 por tipo de fonte da pecuária. Eixo X, tipos de animais de criação. Eixo Y, quantidade de emissão de KgCO2e por animal.



Fonte: Autor, 2024.

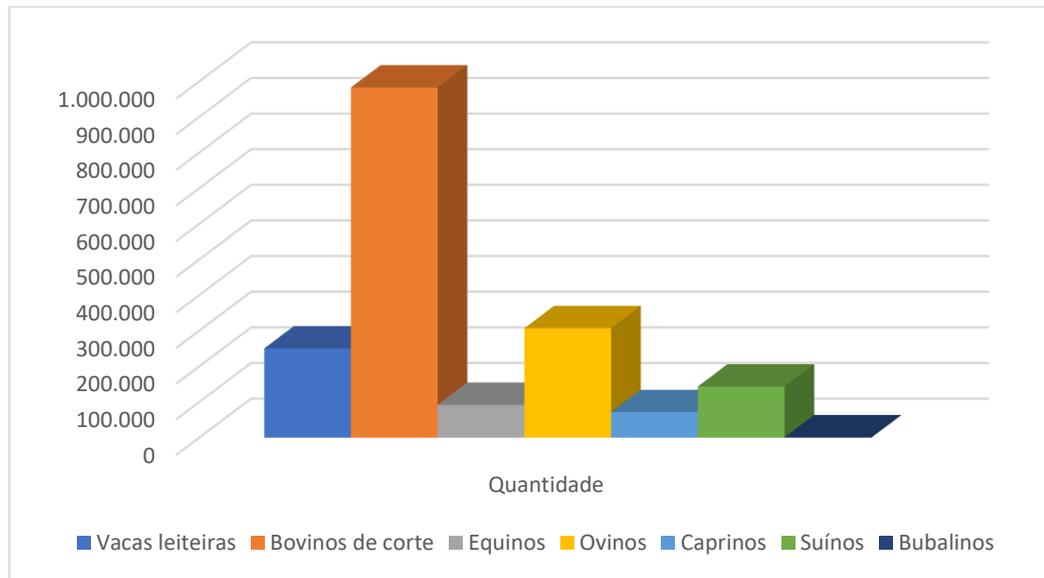
Figura 23 – Coeficiente de emissão em toneladas de N2O por tipo de fonte da pecuária. Eixo X, tipos de animais de criação. Eixo Y, quantidade de emissão de KgCO2e por animal.



Fonte: Autor, 2024

Em relação à contribuição das emissões de GEE associadas a 2.098.086 cabeças de animais na pecuária, os bovinos de corte representam a maior parcela, com 53% do total, seguidas pelos ovinos com 17%, vacas leiteiras com 13%, suínos com 8%, equinos com 5% e caprinos com 4%, com os bubalinos tendo menos de 1% conforme pode perceber-se na figura 24.

Figura 24 – Participação nas emissões de GEE da pecuária devido a quantidade dos animais de criação no estado de Alagoas em 2019. Eixo X, o tipo de animal. Eixo Y, a quantidade de animais,



Fonte: Autor, 2024.

Ao analisar conjuntamente os coeficientes de emissão para metano (CH₄) e óxido nítrico (N₂O) em relação à quantidade de cada tipo de animal, observa-se que as emissões provenientes dos bovinos de corte são cerca de um terço a mais do que as emissões das vacas leiteiras em 2019. Isso ocorre mesmo considerando que vacas leiteiras apresentam fatores de emissão mais elevados para CH₄ e N₂O em comparação com vacas de corte.

Com base na comparação entre os resultados entre este inventário e as estimativas de emissões dos GEE do SEEG, observa-se uma diferença notável 854.086 tCO₂e provenientes de fermentação entérica do CH₄. Na tabela 13 estão os principais pontos de comparação e resultados.

Este inventário não mensurou as emissões de CH₄ dos muales e asininos por falta de dados fontes. Ainda por falta de dados também não foi possível subcategoria as vacas leiteiras e os bovinos de acordo com suas idades para aumentar o grau de precisão das precisões. Sendo assim SEEG apresentou estimativas para bovinos e vacas leiteiras mais precisas e diferente para classificar e contabilizar as emissões de CH₄. O que pode justificar os resultados diferentes. Outras possibilidades de diferenças entre as estimativas dos inventários também podem ser devido ao uso de diferentes fatores de emissão para cada tipo de animal, variações nos fatores de emissão podem levar a resultados discrepantes entre os inventários.

Tabela 13 – comparação entre as emissões entéricas entre as estimativas deste inventário com as estimativas da SEEG

Estimado	Neste inventário			SEEG			
	Emissão em tCO ₂ e			Emissão em tCO ₂ e			
	CH ₄	N ₂ O	total	CH ₄	N ₂ O		
Criação de Animais	Vacas leiteiras	326145,8	2.378.146	2.704.292	Vacas leiteiras ²²	Dados específicos não encontrados para cada tipo de espécie.	Não estimados pela GEE ²³
	Bovinos de corte	866.916	5.332.222	6.199.138	Bovinos de corte ²⁴		
	Equinos Ovinos Caprinos Suínos Bubalinos ²⁵	78.913,2	1.426.939	1.505.853	Equinos Ovinos Caprinos Suínos Bubalinos Múas Asininos		
Total por GEE	1.271.975	9.137.307			2.126.061	----	
Total de GEE	10.409.282,4						

Fonte: Tabela construída com base nos dados deste inventário e na nota metodológicas do SEEG de 2021, 2022 e 2023.

Portanto, com base nos dados deste inventário, as emissões totais de gases de efeito estufa (GEE) da pecuária em Alagoas em 2019 foram de 10.409.282,43 tCO₂e, o que equivale a aproximadamente 10,40 megatoneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) de metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O).

4.3 SÍNTESE DAS EMISSÕES DE GEE POR SETOR NO ESTADO DE ALAGOAS

Os dados serão apresentados neste tópico desconsiderando a cultura do eucalipto. Assim sendo, com base nos demais setores aqui inventariados apresentados na figura 25, o Estado de Alagoas emitiu em 2019 um total equivalente a 13,8 MtCO₂e. Destas emissões, 75% foram atribuídas ao setor da pecuária (fermentação entérica), seguidas por energia com 19% (somando

²² Devido a essas especificações quanto as vacas-leiteiras é possível classificar estas mensurações de acordo com o tier 2 (IPCC,2006).

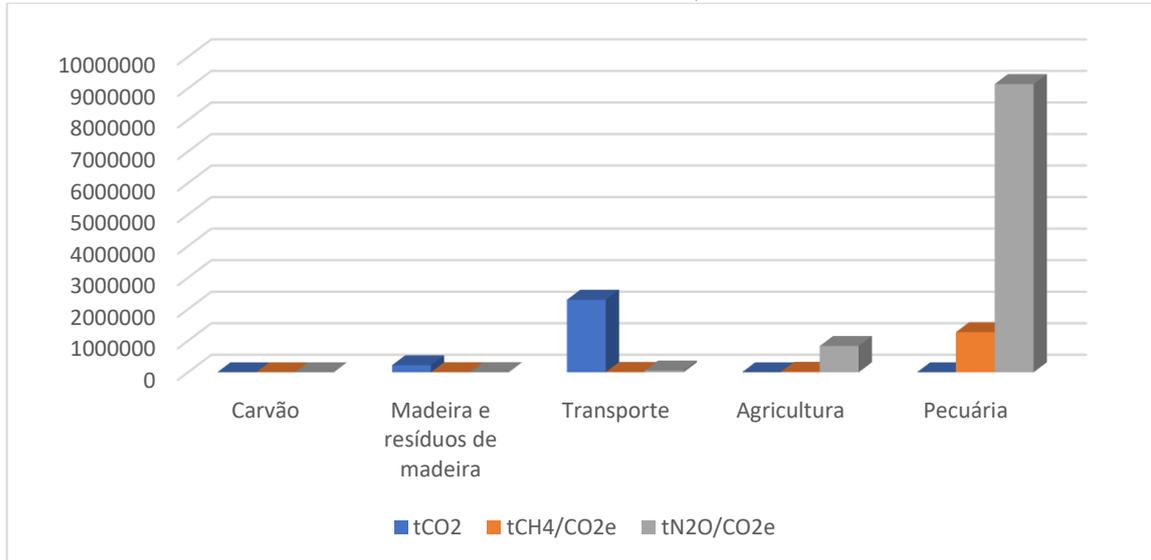
²³ Com base na nota metodológica do setor agropecuário da SEEG na página 12 de 2023, o SEEG mensurou apenas as emissões entéricas de CH₄ para criação de animais. Não foram encontradas nem nas notas metodológicas de 2021, 2022 e nem na de 2023.

²⁴ Devido a essas especificações quanto aos bovinos é possível classificar de acordo com o tier 2 (IPCC,2006).

²⁵ Bubalinos apenas para o CH₄.

transportes com 12%, madeira com 1% e carvão com menos de 1%). E 6% da agricultura (cultivo de culturas temporárias e permanentes)

Figura 25 – Emissões de GEE em tCO2e por setor e tipo de GEE. Eixo X, fonte de emissão. Eixo Y, quantidade de toneladas de CO2e,



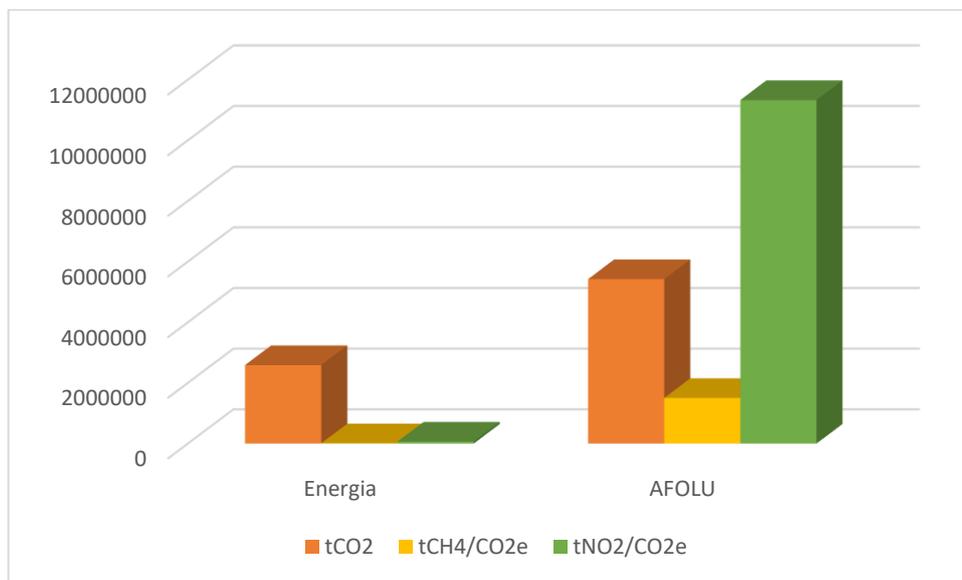
Emissões de GEE por setor e tipo de GEE em 2019						
Setor	CO2	CH4	CH4 em CO2e	N2O	N2O em CO2e	Total em tCO2e
Carvão	20,997	0,000214	0,0044856	0,00032	0,099324	21,1006896
Madeira e resíduos de madeira	224.522,97	60,1	1.262,9	8,02	2485,78997	228271,697
Transporte	2.300.416,4	420,84	8.837,6	174,45	54.080,32	2.363.334,3
Agricultura	-----	601,6	12.633,6	2.690,7	834.124,91	
Criação de Animais	0	60.570,2	1.271.975	29.475	9.137.307,4	10.409.282,4
Total por tipo de GEE	2.524.960	61.653	1.294.71	32.348	10.027.999	13.847.668,07

Fonte: Autor, 2024.

Na pecuária, as emissões de CO2 equivalente foram predominantemente devidas ao óxido nitroso (N2O) convertidos em CO2e, representando 88% do total, impulsionadas pela criação bovina, seguido pelo metano (CH4) com 12%. Na agricultura, o principal gás de efeito estufa (GEE) foi o N2O com quase a totalidade das emissões; com uma contribuição significativa proveniente do cultivo da cana de açúcar, sendo quase 9 vezes superior às emissões do milho, segundo maior contribuidor. A cana de açúcar emitiu mais de 1,5 vezes mais do que todas as demais culturas somadas. Enquanto o CH4 teve uma participação mínima, inferior a 1%, mas vale ressaltar que neste inventário só foi mensurada as emissões de CH4 do arroz inundado.

Juntando as emissões da madeira, carvão e transportes em Energia e as da agricultura e pecuária em AFOLU, observou-se que a Energia contribuiu com 19% das emissões totais de CO₂e, dos quais o CO₂ respondeu por 98% e o N₂O por 2% e o CH₄ menos de 1%. Já o setor AFOLU foi responsável por 81% do CO₂e, dos quais o N₂O teve uma participação de 89% e o CH₄ de 11, e para o CO₂ não houve mensuração deste conforme mostrado na figura 26.

Figura 26 – Emissões de GEE por tipo de setor. Eixo X, setor de emissão e tipo de gás. Eixo Y, quantidade das emissões de GEE em tCO₂e.



Fonte: Autor, 2024.

No setor de energia os transportes responderam por 91% das emissões de CO₂e, dos quais, nos transportes, as emissões em CO₂e, o CO₂ foram responsáveis por 97%, predominantemente devido a veículos com motores de alta potência, seguidas por 3% de N₂O e menos de 1% de CH₄. A madeira respondeu por 9% das emissões do setor energia e o carvão menos de 1%, estes com predominância de quase 100% das emissões de CO₂ dentre os gases inventariados.

Somando as emissões do uso da madeira, carvão, transportes, agricultura e pecuária as emissões brutas este inventário totalizou a emissão para o ano de 2019 em 13,85 megatoneladas de CO₂e. Comparando os resultados deste com as estimativas da SEEG de 2019, que foram de 8,6 MtCO₂ apresentando uma grande diferença. As divergências entre os resultados deste inventário e os do SEEG podem ser atribuídas às diferentes abordagens metodológicas, fontes de dados utilizadas, tipo de GEE inventariados por fonte, fatores de emissão aplicados e ao

escopo de inclusão de diversas fontes de emissão em cada estudo. Em cada setor inventariado neste documento foi relatado as possíveis causas de divergências, quando constadas.

5 CONCLUSÕES

A pesquisa teve como objetivo geral elaborar um inventário das emissões de GEE advindos do uso da madeira, carvão, transportes rodoviários, agricultura, pecuária e os estoques de CO₂ das UCs para o estado de Alagoas, ano base de 2019. Constatou-se que o objetivo geral foi desenvolvendo inventário para os setores propostos. Para o ano de 2019 o Estado de Alagoas emitiu aproximadamente 13,85 de MtCO₂e que somados a cultura do eucalipto atinge um total de emissões brutas de 19,271 MtCO₂e. E possuía um total de 201,36 MtCO₂e estocados nas unidades de conservação.

Com base nos resultados apresentados percebe-se que a fermentação entérica é a fonte analisada mais associada com emissão de GEE em relação as demais fontes inventariadas. O setor de transportes rodoviários emite mais do que o de cultivo agrícola, se desconsiderando a cultura do eucalipto. Foi evidenciado também que embora a cultura do eucalipto emita mais de 5 MtCO₂, ela acaba estocando mais CO₂ no solo advindos da atmosfera do que torna a reemitir, deixando essa atividade da silvicultura um salto líquido para estoque e não para emissão de GEE. Evidenciou-se que as UCs são importantes para a contínua estocagem de GEE, e que é importante evitar queimadas para não liberar grandes quantidades de CO₂.

Percebe-se também, na fermentação entérica, que os bovinos foram os que mais contribuíram para as emissões, e que a fermentação entérica emite mais N₂O em CO₂e do que CH₄ em CO₂e. Analisou-se ainda que as principais diferenças das estimativas deste inventário com o da SEEG na pecuária estão principalmente nos tipos de GEE inventariados e nas especificações do tipo de fonte utilizadas.

Evidencia-se que os transportes Rodoviários tem uma grande participação principalmente nas emissões de CO₂ e que há possibilidades de redução das emissões de serem direcionadas políticas públicas que dê prioridade aos transportes coletivos em detrimento, principalmente, aos automóveis. Foi possível inferir que as diferenças das emissões dos transportes deste inventário com os demais possivelmente estavam atrelados aos transportes considerados no ano de 2019 em Alagoas e aos fatores utilizados, bem como algumas especificidades adotadas por este inventário por conta da falta de dados mais específicos sobre as fontes. O cultivo da cana de açúcar se destacou nas emissões de GEE, sendo responsável por 61% das emissões. E que é preciso desenvolver políticas públicas que diminuam as emissões.

Sugestões para trabalhos futuros

- Realizar uma análise mais detalhada seguindo o tier 2 do IPCC, uma vez que a falta de dados específicos limitou essa abordagem para todas as fontes analisadas.
- Abranger as emissões do setor de energia provenientes de outros tipos de transporte e da energia elétrica.
- No setor agropecuário, estimar as emissões dos solos manejados, manejo de dejetos animais e queima de resíduos sólidos, cuja análise foi limitada pelo tempo disponível e pela falta de dados.
- Estimar as emissões provenientes da criação de aves e da aquicultura, que não foram abordadas no estudo atual.
- Realizar um balanço das emissões para evidenciar as emissões líquidas, além das brutas, algo que não foi possível devido à restrição de tempo e dados disponíveis para Alagoas em 2019.
- Fazer ponderação e comparações com outros métodos de estimativas.
- É necessário realizar as estimativas dos focos de queimadas, não realizada neste inventário por falta de dados confiáveis para estimativas.
- Aplicar a taxa de sucateamento da frota veicular do Estado de Alagoas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRACICLO – Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares. **Frota circulante**. Disponível em <https://www.abraciclo.com.br/site/wp-content/uploads/2024/07/2024_05_Frota.pdf>. Acesso em abril de 2024.

AGUIAR, A.P.D., OMETTO, J. P. NOBRE, C. LAPOLA, D. M. ALMEIDA, C. VIEIRA, I. C. SATORRES, J. V. **Modeling the spatial and temporal heterogeneity of deforestation-driven carbon emissions: the INPEEM framework applied to the Brazilian Amazon**. *Global Change Biology* 18, 3346-3366. 2012.

ALMEIDA, R. D. **Diretrizes para elaboração de inventários de emissões de gases de efeito estufa em municípios de pequeno e médio porte**. 196 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) - Universidade Positivo. 2011.

ALONSO, M. F. **Inventários de fontes de emissão**. In: MARIANO, G. L. (Org.). **Meteorologia em tópicos**: Ed 1. Pelotas: Clube de Autores, 2014.

ALVES, GILSÂMARA; MARINHO, M. M. O. **Inventários urbanos de emissões de gases de efeito estufa no Brasil: uma análise preliminar**. Encontro Empresarial de Gestão e Meio Ambiente-Engema. 2015.

AMORIM, W. N. **Ciência de dados, poluição do ar e saúde**. 23. 155 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Universidade de São Paulo. 2019.

ARAUJO, G. J. F. DE CARVALHO, C. M., ARAÚJO, M. F. de. A conferência das nações unidas sobre o desenvolvimento sustentável – rio + 20 e os resultados frente ao cenário político econômico euro americano. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental Da Alta Paulista**, v. 8, n. 5. 2012.

ARAÚJO, J. M. de. **Estudo da poluição atmosférica no estado de São Paulo associada ao material particulado a partir de satélite**. 123 f. Dissertação Mestrado - Curso de Análise Ambiental Integrada, Universidade Federal de São Paulo. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **ABNT NBR ISO 14064:1**: Gases de efeito estufa: Especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14064-1. **Gases do Efeito Estufa. Parte 1**: Especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases do efeito estufa. Rio de Janeiro, 2007a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14064-2. **Gases do Efeito Estufa. Parte 2**: Especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases do efeito estufa. Rio de Janeiro, 2007b.

AZUAGA, D. et al. **Danos ambientais causados por veículos leves no Brasil**. Rio de Janeiro: UFRJ, COPPE, 2000.

Barbosa, Emylle Isabele Gonçalves. **Inventário de fontes veiculares para Maceió-AL: análise atual e cenários futuros.** – 2022. 79 f. : il.

BARROS, Gilclebson Mascarenhas. **Análise comparativa dos gases de efeito estufa (GEE) no setor energético no estado de Alagoas.** Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Alagoas. Maceió, p. 35. 2022.

BEHRENDT H.; ALESSANDRINI F.; BUTERS J.; KRÄMER U.; KOREN H.; RING J. Environmental pollution and allergy: historical aspects. **Chem Immunol Allergy**: v. 100, n. 4, 88-89, 2014.

BERKOWICZ, R.; WINTHER, M.; KETZEL, M. Traffic pollution modeling and emission data. **Environmental Modelling & Software**, v. 21, p. 454–460, 2006.

BRANDER, M. Transposing lessons between different forms of consequential greenhouse gas accounting: lessons for consequential life cycle assessment, project-level accounting and policy-level accounting. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, n. 1, 4247-4256, 2015.

BRASIL, G.; SOUZA, P.; CARVALHO, J. Inventários Corporativos de Gases de Efeito Estufa: Métodos e Usos. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**. v.3, n. 1, p. 15-26. [S.l.], 2008.

BRASIL. **LEI Nº 6.938, DE 31 DE AGOSTO DE 1981.** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

BRASIL. MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. **Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa** – Relatórios de Referência: Emissões de Metano no Tratamento e na Disposição de Resíduos. Brasília: MCT, 2006.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Tabela das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.** Brasília, DF, 2021. cap. 2, p. 80-181.

BRIANEZI, D.; JACOVINE, L.A.G.; SCHETTINI, B.L.S.; TORRES, Carlos Moreira Miquelino Eleto; ROCHA, S. J. S. S.; VILLANOVA, P. H.; OLIVEIRA NETO, S. N.. **Balço de carbono em monocultivo de eucalipto com diferentes arranjos espaciais.** Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS), v. 9, p. 27-33, 2019.

CAMPOS, L. M. S. SGADA – **Sistema de Gestão e Avaliação de Desempenho Ambiental:** uma proposta de implementação. 2001. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2001.

CARVALHO, B. O. **Estudo sobre inventário de emissões de gases de efeito estufa da indústria de catalisadores.** Trabalho de Conclusão de Curso. 108 f. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ. 2019. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/12352/1/BOCarvalho.pdf>>. Acesso em: 01 mai 2022.

CAVALCANTI, P. M. P. S. **Modelo de Gestão da Qualidade do Ar** – Abordagem Preventiva e Corretiva, 2010. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

CENTER FOR RESILIENCE AT OHIO STATE UNIVERSITY. C-FARTM Carbon Footprint Assessment and Reduction. Disponível em: <<http://www.resilience.osu.edu/CFR-site/c-far.htm>>. Acesso em 20 agosto de 2010.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário de emissão dos gases de efeito estufa associada ao transporte rodoviário no estado de São Paulo**, 1990 a 2008. São Paulo, 2011.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário de emissão dos gases de efeito estufa associada ao transporte rodoviário no estado de São Paulo relatório 2020**. Acessado em janeiro de 2024. Disponível em < <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2022/03/Relatorio-Emissoes-Veiculares-2020.pdf>>.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do ar** – informações. Disponível em < <https://cetesb.sp.gov.br/ar/>>. Acesso em: 30 dez. 2021.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Emissão Veicular**. 2022. Disponível em <<https://cetesb.sp.gov.br/veicular/promot/>>. Acessado em junho de 2024.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Inventário de GEE SP**. CETESB, São Paulo. (2004). Disponível em <<https://cetesb.sp.gov.br/inventario-gee-sp/>> (2024). Acesso em dezembro de 2005.

CETESB (São Paulo). **Inventário de emissões de gases de efeito estufa da sede da CETESB** [recurso eletrônico]: referente aos anos 2019, 2020 e 2021. CETESB; Coordenação técnica Maria Fernanda Pelizzon Garcia; Elaboração Anali Espindola Machado de Campos, Daniel Soler Huet, Maria Fernanda Pelizzon Garcia; Revisão e levantamento de dados Marcelo Pereira Bales ... [et al.]; Colaboração Aparecido Donizete Fernandes ... [et al.]. – São Paulo: CETESB, 2023. 1 arquivo de texto (30 p.) : il. color., PDF ; 6,60 MB.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Emissões Veiculares no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2014.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Mudanças climáticas e o Setor Elétrico Brasileiro**. São Paulo, 2012.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Poluentes Atmosféricos**. São Paulo, 2017.

CETESB. Emissões veiculares no estado de São Paulo 2019 [recurso eletrônico]. Coordenação técnica Marcelo Pereira Bales; Elaboração Antônio de Castro Bruni... [et al.]. – São Paulo: CETESB, 2020. 1 arquivo de texto (137 p.): il. color., PDF; 5 MB. - (Série Relatórios / CETESB, ISSN 0103-4103)

CHAN, W.N. **Quantificação e redução de emissões de gases de efeito estufa em uma refinaria de petróleo**. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 2006.

COHEN, Marcos et al. Responsabilidade socioambiental corporativa como fator de atração e retenção para jovens profissionais. BBR. **Brazilian Business Review**, v. 14, p. 21-41, 2017.

COSTA, B. L. C. **Quantificação das Emissões de CO2 geradas na Produção de Materiais Utilizados na Revista da Universidade Vale do Rio Verde**. Construção Civil no Brasil. (Dissertação). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2012.

COSTA, I. A. **Análise do perfil de emissões atmosféricas do setor industrial no Estado do Rio de Janeiro**. 49 f. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Niterói, 2021.

Costa, Thomaz Correa e Castro da. **Sequestro de CO2 em árvores de eucalipto no sistema ILPF**. – Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2022.

CROCI, E., MELANDRI, S., MOLTENI, T. Determinants of cities' GHG emissions: a comparison of seven global cities. **International Journal of Climate Change Strategies and Management**, v.3, n.3, p. 275-301, abr. 2011.

CRUZ-NÚÑEZ, X. An approach to a black carbon emission inventory for Mexico by two methods. **Science of the Total Environment**, v. 479, p. 181-188, 2014.

D'AVIGNON, A. et al. Emission inventory: An urban public policy instrument and benchmark. **Energy Policy**, v. 38, n. 9, p. 4838-4847, 2010.

DANNI-OLIVEIRA, I.M. Poluição do ar como causa de morbidade e mortalidade da população urbana. **RA' EGA (UFPR)**, v. 15, p. 111-124, 2008.

DEPINÉ, H., N. M. R. Castro, e A. Pinheiro, Pedrolho. 2014. O. Preenchimento de falhas de dados horários de precipitação utilizando redes neurais artificiais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**, v. 19, n. 1, 2014, p.51-63.

DINIZ, Tatiana Rosa. **Fluxos de gases de efeito estufa do solo na sucessão vegetação nativa/pastagem na região Sudeste do Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo do Meio Ambiente. 2016.

DU, S., T. Li, Y. Yang, e S. Horng. **Deep Air Quality Forecasting Using Hybrid Deep Learning Framework**. in IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. 2019.

DUBEUX, C. B. S. Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa por Municípios Brasileiros: metodologias para elaboração de inventários setoriais e cenários de emissões como instrumentos de planejamento. Tese (Doutorado em Planejamento energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

EMBRAPA – **Agroenergia**: silvicultura. Talita Delgrossi Barros. 08/12/2021. Disponível em <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/florestal/silvicultura#:~:text=Silvicultura%20C3%A9%20a%20arte%20e,no%20uso%20consciente%20das%20florestas.>>. Acessado em junho de 2024.

FANDIÑO, Isabella Charres et al. **Inventário de emissões atmosféricas de MP2, 5 e BC oriundas da combustão em Londrina, Paraná**. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2019.

FEARNSIDE, Philip Martin; BARBOSA, Reinaldo Imbrozio; PEREIRA, Vaneza Barreto. **Emissões de gases do efeito estufa por desmatamento e incêndios florestais em Roraima: fontes e sumidouros**. Revista Agroambiente On-line, v. 7, n. 1, p. 95-111, 2013.

FEITOSA, C. O., & Paz, M. L. N. da. (2021). **Uma análise histórico-econômica do crescimento do setor de serviços em Alagoas**. *Nexus Econômicos*, v. 15, n. 2, jul-dez. 2021. p. 82–103. <https://doi.org/10.9771/rene.v15i2.52576>

FGV – Fundação Getúlio Vargas. **Breve retrato econômico da região Nordeste**. 2023. Disponível em <<https://blogdoibre.fgv.br/posts/breve-retrato-economico-da-regiao-nordeste>>. Acesso em abril de 2024.

FGV – Fundação Getúlio Vargas. Panorama das emissões de metano e aplicações do uso de diferentes métricas. 2022. Disponível em <https://agro.fgv.br/sites/default/files/2023-05/ocbio_panorama_das_emissoes_de_metano_e_implicacoes_do_uso_de_diferentes_metricas_pt.pdf>. Acessado em junho de 2024.

FONG, W. K. et al. **Global protocol for community-scale greenhouse gas emission inventories**. World Resources Institute, C40 Cities Climate Leadership Group, ICLEI– Local Governments for Sustainability, New York, 2014.

FRONDIZI, Carlos A. **Monitoramento da qualidade do ar: teoria e prática**. Rio de Janeiro: E-Papers, 2008. 275 p.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS – FGV. CENTRO DE ESTUDOS EM SUSTENTABILIDADE DA EAESP. **Guia para elaboração de inventários corporativos de emissões de gases de efeito estufa**. Programa Brasileiro de GHG Protocol. São Paulo: FGV, 2009.

GHG PROTOCOL BRASIL. **Ferramenta GHG Protocol 2009 – v2 – Programa Brasileiro GHG Protocol – 2009**.

GUENTHER, A.; KARL, T. HARLEY, P.; WIEDINMER, C.; PALMER, P. I.; GERON, C. Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature). **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 6, p. 3181–3210, 2006.

GUERRA, A. T. **Dicionário geológico geomorfológico**. 8ª ed. Rio de Janeiro: Secretaria de Planejamento, Orçamento e Coordenação e IBGE, 1993.

GUTTIKUNDA, Sarath K.; NISHADH, K. A.; JAWAHAR, Puja. Air pollution knowledge assessments (APnA) for 20 Indian cities. **Urban Climate**, v. 27, p. 124-141, 2019.

HELFAND, W. H.; LAZARUS, J.; THEERMAN, P. **Donora, Pennsylvania: An Environmental Disaster of the 20th Century**. **American Journal of Public Health**. 2001, Vol. 91, No. 4. p.553.

HOINASKI L. V. et al. **Avaliação do impacto das emissões veiculares, queimadas, industriais e naturais na qualidade do ar em Santa Catarina - ano base 2020**. Coordenação técnica Dr. Leonardo Hoinaski ; Florianópolis: LCQAR, 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2019. **Extração Vegetal e Silvicultura**. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/pesquisa/16/12705?ano=2019&tipo=ranking&indicador=47331>>. Acesso em janeiro de 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2024. Disponível em <https://geofpt.ibge.gov.br/produtos_educacionais/mapas_tematicos/mapas_do_brasil/mapas_estaduais/politico/alagoas.pdf>. Alagoas Acessado em janeiro de 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário. 2019. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/pesquisa/24/76693>>. Acessado em janeiro de 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População**. 2022. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/panorama>>. Acessado em janeiro de 2024.

IEMA – Instituto de Energia e Meio Ambiente. **As emissões brasileiras de gases de efeito estufa nos setores de Energia e de Processos Industriais em 2019**. Disponível em <<https://energiaeambiente.org.br/as-emissoes-brasileiras-de-gases-de-efeito-estufa-nos-setores-de-energia-e-de-processos-industriais-em-2019-20201201>>. Acesso em abril de 2024.

IEMA – Instituto de Energia e Meio Ambiente. Relatório Anual 2019. Disponível em <https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2020/12/IEMA_RelatorioAnual2019.pdf>. Acesso em junho de 2025.

INEA – INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE DO RIO DE JANEIRO. **Resolução nº64 de 12 de dezembro de 2012.** 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.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE - IEMA. **Plataforma da Qualidade do Ar: Definições. Dados disponibilizados.** Dia a dia, estação por estação. 2022. Disponível em: <<http://energiaambiente.org.br/qualidadedoar>>. Acesso em: 1 mai 2022.

IPPC. National Greenhouse Gas Inventory Programme. [EGGLESTON H. S.; BUENDIA L.; MIWA K.; NGARA T.; and TANABE K. (eds)]. **IPPC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** Hayama, Japão: IGES, 2006.

IPPC. National Greenhouse Gas Inventory Programme. **Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change.** IPCC. Disponível em < <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/> > Acesso em: 7 ago. 2022.

JACOMINO, Vanusa Maria Feliciano et al. Avaliação da qualidade do ar em um polo produtor de ferro-gusa. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 4, p. 511-520, dez. 2009.

JUDD, Laura M. et al. **Evaluating Sentinel-5P TROPOMI tropospheric NO2 column densities with airborne and Pandora spectrometers near New York City and Long Island Sound.** Atmospheric Measurement Techniques. [S.I.], p. 6113-6140. nov. 2020.

KAWASHIMA, Ana Beatriz. **Desenvolvimento de um inventário de emissões atmosféricas por fontes fixas para o Brasil.** 2015. 105 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana/Londrina, 2015.

KUHN, Daiane et al. **Emissão de CO2 por automóveis em avenida com lombadas físicas.** Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 7, n. 2, 2015.

LACAVA, C. I. V. **Avaliação da qualidade do ar.** In: Emissões Atmosféricas. UFPR. v. 1, n. 1, 2001. p. 131-180. Disponível em: <http://www.ambiental.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2014/08/Livro_TGA-EA-_cap_2__QUAL_AR.pdf>. Acesso em: 01 mai 2022.

LOBATO, Maxwell Ferreira; RODRIGUES, Brenda Maria Martins; SANTOS, Andarair Gomes dos. Impacto da pandemia de COVID-19 nas emissões veiculares no Brasil no período de janeiro a maio de 2020. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, p. 829-836, 2021.

LOIOLA, Bruna Rafaella et al. Análise das emissões de poluentes de motores flex na saída do escapamento de automóveis. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**, v. 7, n. 1, 2011.

LORIATO, Ayres Geraldo et al. Inventário de emissões com alta resolução para a região da grande Vitória utilizando o Sistema de Modelagem Integrada WRF-SMOKE-CMAQ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, p. 521-536, 2018.

LYRA, Diógenes Ganghis Pimentel de. **Modelo Integrado de Gestão da Qualidade do Ar da Região Metropolitana de Salvador.** 2008. 233 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

MACHADO, P. L. O. A. **Carbono do Solo e a Mitigação da Mudança Climática Global.** Química Nova. Vol. 28, No. 2, p.329-334, 2005.

MARIANELLI, Gleidy da Silva; SILVA, Máira Regina Labuto Fragoso da. **Utilização do Sensoriamento Remoto como Ferramenta no Controle e Monitoração da Qualidade do Ar**. Urissanê, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2008.

MARIANO, G. L. (Org.). **Meteorologia em tópicos**: Ed 1. Pelotas: Clube de Autores, 2014.

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia. **Emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis: abordagem top-Down – primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa** – Relatório de referência. Brasília: 2006. 115 p.

MCT - ministério da ciência e tecnologia. Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa - emissões de gases de efeito estufa por fontes móveis, no setor energético. Brasília, 2006.

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. 2024. **Resultado do Inventário nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa, por unidade Federativa**. Disponível em <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/arquivos/LIVRORESULTADOINVENTARIO30062021WEB.pdf>>. Acessado em maio de 2024.

MENDES. **Avaliação de programas de controle de poluição atmosférica por veículos leves no Brasil**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro 2004.

Ministério do Meio Ambiente. **Acordo de Paris**. Disponível em <<https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris.html>>. Acessado em julho de 2024.

MMA (ministério do meio ambiente). 2011. Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários. Brasília: mma. https://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf.

MORAIS, Gilsimeire Rodrigues et al. Qualidade do ar interno em uma instituição de ensino superior brasileira. **Biosci J**, v. 26, n. 2, p. 305-10, 2010.

MOSS, Richard H. et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v. 463, n. 7282, p. 747-756, 2010.

MOURA. **Tipos de caminhão: confira seus tamanhos e capacidades**. 2021. Disponível em <<https://www.moura.com.br/blog/tipos-de-caminhao>>. Acessado em janeiro de 2021.

NAGAL, F. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa de fabricante de computadores**. Dissertação (Mestrado profissional em Gestão Ambiental). Universidade Positivo, Curitiba, 2010.

NAIDHIG, D.; SOUZA, M. C. O.; CORAZZA, R. I.. Entre a governança deliberativa e a governança de mercado: análise da Sessão Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra (AFOLU) do Processo Consulta Clima. Debates sobre Innovación, v. 6, p. 243-246, 2021.

NANDINI, K., e G. FATHIMA. 2019. **Urban Air Quality Analysis and Prediction Using Machine Learning**. 1st International Conference on Advanced Technologies in Intelligent Control, Environment, Computing & Communication Engineering (ICATIECE), Bangalore, India, 2019, p. 98-102.

NEMERY, B.; HOET, P.H.; NEMIPPC (2006), A.; **The Meuse Valley fog of 1930: an air pollution disaster**. Lancet. 2001. Vol. 357. p. 704-708.

NUNES, A. B.; G.A. Degrazia ; C.R.J. de Campos ; D.M. Moreira . **Turbulent eddy diffusivities for a planetary boundary layer generated by thermal and mechanical effects.** revista brasileira de geofísica (impresso), v. 31, p. 609-618, 2014.

OLIVEIRA, Fernando Henrique Pires de. **Caracterização das diferenças entre precipitações estimadas por satélite e obtidas por pluviômetros.** 2019. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

OLIVER, J.G.J.; BERDOWSKI, J.J.M. Global emissions sources and sinks. In:BERDOWSKI, J.; GUICHERIT, R.; B.J. HEIJ (EDS.) **The climate system, Lisse. The Netherlands: Balkema Publishers/Swets & Zeitlinger Publishers**, p. 33-78. A.A. ISBN 90 5809 255 0, 2001.

PACHÓN, D.A.O. **Estimativa das emissões e remoções de gases de efeito estufa produzidas pelo INPE em 2012.** Dissertação (mestrado). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos/SP, 2014.

PBGHGP – PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. **Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol: Contabilização, quantificação e publicação de inventários corporativos de emissões de gases de efeito estufa.** 2. ed. 2008.

PENAESTRADA. **Tipos de caminhão: saiba quais são, capacidades e tamanhos.** 2024. Disponível em <<https://penaestrada.com.br/tipos-de-caminhao/#:~:text=O%20tipo%20mais%20comum%20%C3%A9,mais%20numerosa%20nas%20estradas%20brasileiras.>>>. Acesso em junho de 2024.

PINHO, I. P. R. **inventário e gerenciamento de emissões de gases de efeito estufa na indústria de bebidas: Um estudo de caso no Brasil.** 2009. 141 f. Dissertação de mestrado em Ciências de Planejamento Energético. Programa de Pós-graduação e pesquisa de engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2009.

PIRES, D.O. **Inventário de emissões atmosféricas de fontes estacionárias e sua contribuição para a poluição do ar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.2005.** 180 f. Tese (doutorado em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2005.

QUINTAO, José Maurício B. et al. **Mudanças do uso e cobertura da terra no Brasil, emissões de GEE e políticas em curso.** *Cienc. Cult.* [online]. 2021, vol.73, n.1, pp.18-24. ISSN 0009-6725. <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602021000100004>.

RAVINDRA, Khaiwal et al. Generalized additive models: Building evidence of air pollution, climate change and human health. **Environment international**, v. 132, p. 104987, 2019.

RENAVAM - Registro Nacional de Veículos Automotores. **Frota de veículos – 2019.** Disponível em <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2019>>. Acesso em janeiro de 2023.

RENNÓ, C. R. A. Inventário de Emissões de Gases do Efeito Estufa – GEE para Avaliação da Atuação Ambiental da COPASA. In: **26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Porto Alegre, RS, 2011.

Ribeiro, F.P.; Gatto, A.; Oliveira, A.D.d.; Pulrolnik, K.; Valadão, M.B.X.; Araújo, J.B.C.N.; Carvalho, A.M.d.; Ferreira, E.A.B. **Carbon Storage in Different Compartments in Eucalyptus Stands and Native Cerrado Vegetation.** *Plants* 2023, 12, 2751. <https://doi.org/10.3390/plants12142751>

ROCHA, S. J. S. S. ; SCHETTINI, B. L. S. ; **ALVES, Eliana Boaventura Bernardes Moura**; VILLANOVA, P. H. ; TORRES, C. M. M. E. ; JACOVINE, L. A. G. ; OLIVEIRA NETO, S. N. ; BRIANEZI, D. . Balanço de carbono em três sistemas silvipastoril no Sudeste do Brasil. *ESPACIOS (CARACAS)*, v. 38, p. 33, 2017.

SABINO DO NASCIMENTO, Alexandre. A urbanização planetária neoliberal e o discurso da resiliência e da urbanização sustentável: uma reflexão crítica em torno da "nova agenda urbana global". *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, v. 30, n. 2, p. 318-335, 2021.

SEEG – Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, Observatório do Clima. **Alagoas**. 2019. Disponível em <<https://plataforma.seeg.eco.br/territorio/alagoas>>. Acesso em 21/06/2024.

SEEG – Sistema de Estimativas de Emissão de Gases do Efeito Estufa. Nota metodológica do setor de Energia. 2023. Disponível em <<https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/02/SEEG11-NM-ENERGIA.pdf>>. Acessado em junho de 2024.

SEEG – Sistema de Estimativas de Emissão de Gases do Efeito Estufa. Nota metodológica do setor Agropecuária. 2023. Disponível em <https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Notas%20Metodologicas/SEEG_9%20%282021%29/SEEG9_Nota_Metodologica_AGRO_27.10.2021.pdf>. Acessado em junho de 2024.

SILVA, A. F.; VIEIRA, C.A. Aspectos da poluição atmosférica: uma reflexão sobre a qualidade do ar nas cidades brasileiras. *Revista Ciência e Sustentabilidade*, v. 3, p. 166-189, 2017.

SILVA, Keke Rosberg Guimarães da. **Inventários de gases de efeito estufa para o município de Maceió**. 2017. 81 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017.

SIMÕES, Josielli Batista. **Análise e estimativa de inventários de emissões veiculares no estado do Rio Grande do Norte**. 2019. 111 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento). 2019.

SINGH, N., BACHER, E. K. **Guia para elaboração de programas mandatórios de relato de gases de efeito estufa**. 2018. Disponível em: <<https://wribrasil.org.br/publicacoes/guia-para-elaboracao-de-programas-mandatorios-de-relato-de-gases-de-efeito-estufa>>. Acesso em: 11 jun. 2022.

TORRES, Carlos Moreira Miquelino Eieto. **Estocagem de carbono e inventário de gases de efeito estufa em Sistemas Agroflorestais**. 2015. 83f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2015.

UFSC – Núcleo de Estudos de Economia Catarinenses. 2021. **Valor Adicionado Bruto de Santa Catarina** – IBGE. Disponível em <<https://necat.ufsc.br/valor-adicionado-bruto-de-santa-catarina-ibge/>>. Acessado em julho de 2024.

UNEP; CCA. **Integrated assessment of short-lived climate pollutants in Latin America and the Caribbean**. 2022. Disponível em: <https://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources//CCAC_SLCP%20LAC%20Assessment%20FULL_Web%202_0.pdf>. Acesso em: 17 mai 2022.

UOL. **Com nova lei de emissão de gases, adoção de motores Flex para motos é discutida em SP**. 17/10/2008. Disponível em

<<https://www.uol.com.br/carros/ultnot/2008/10/17/ult5498u138.jhtm>>. Acessado em janeiro de 2024.

USP ESALQ. Uma árvore da Mata Atlântica chega a tirar 163Kg de CO₂ da atmosfera. 24/03/2013. Disponível em <https://www.esalq.usp.br/acom/clipping_semanal/2013/3marco/23_a_29/files/assets/downlo ads/page0013.pdf>. Acessado em junho de 2024.

VAN VUUREN, Detlef P. et al. *The representative concentration pathways: an overview*. Climatic change, v. 109, n. 1, p. 5-31, 2011.

VASQUEZ, L. et al. *Evaluation of greenhouse gas emissions and proposals for their reduction at a university campus in Chile*. *Journal of Cleaner Production*, v.108, p.924-930, 2015.

VENTURA, Luciana Maria Baptista; D'AGOSTO, Márcio de Almeida. SENSORIAMENTO REMOTO: UMA ALTERNATIVA PARA O CONTROLE DA POLUIÇÃO VEICULAR. *Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, Florianópolis, v. 10, n. 1, p. 326-342, maio de 2021.

VIGOUROUX, Corinne et al. TROPOMI–Sentinel-5 Precursor formaldehyde validation using an extensive network of ground-based Fourier-transform infrared stations. *Atmospheric Measurement Techniques*. [S.I.], p. 3751-3767. jul. 2020.

VORMITTAG, Evangelina da Motta et al. **Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil**. *Estudos Avançados*, v. 35, p. 7-30, 2021.

WANG, Y.; ZHU, Q.; GENG, Y. Trajectory and driving factors for GHG emissions in the Chinese cement industry. *Journal of Cleaner Production*, v.53, p.252-260, 2013.

WORLD ENERGY COUNCIL. **World Energy Resources: 2016**. Disponível em <<https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2016/10/World-Energy-Resources-Full-report-2016.10.03.pdf>>. acessado em 10 de janeiro de 2024.

WRI - WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Greenhouse Gas Protocol: GHG Protocol Scope 2 Guidance**. Genebra e Washington, D.C.: WRI, 2015.

WRI - WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Monitoramento da implementação da política climática brasileira: implicações para a contribuição nacionalmente determinada**. Working paper. 2017.

WRI Brasil - Florestas absorvem duas vezes mais CO₂ do que emitem por ano. 22 jan 2021. Disponível em <<https://www.wribrasil.org.br/noticias/florestas-absorvem-duas-vezes-mais-co2-do-que-emitem-por-ano>>. Acesso em maio de 2024.

ZHANG, D.; LIU, J.; LI, D. **Tackling Air Pollution in China—What Do We Learn from the Great Smog of 1950s in LONDON**. *Sustainability* 2014, Vol 6, p. 5322-5338.

ZHAO, Jinxiu et al. Ti₃C₂T_x (T= F, OH) MXene nanosheets: conductive 2D catalysts for ambient electrohydrogenation of N₂ to NH₃. *Journal of Materials Chemistry A*, v. 6, n. 47, p. 24031-24035, 2018.

ZHOU, Y.; CHENG, S.; CHEN, D.; LANG, J.; ZHAO, B.; WEI, W. **A new statistical approach for establishing high-resolution emission inventory of primary gaseous air pollutants**. *Atmospheric Environment*, v. 94, p. 392–401, 2014.