

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO



ROMILDO LOURENÇO DOS SANTOS

MACEIÓ
2024

ROMILDO LOURENÇO DOS SANTOS

**INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE): ESTUDO
DE CASO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS, CAMPUS SERTÃO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientadora: Prof. Dra. Karina Ribeiro Salomon.

Co-orientador: Prof. PhD. Ademir Abdala Prata Júnior.

MACEIÓ

2024

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

S237i Santos, Romildo Lourenço dos.
Inventário de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) : estudo de caso na
Universidade Federal de Alagoas, Campus Sertão / Romildo Lourenço dos Santos. –
2024.
139 f. : il. color.

Orientadora: Karina Ribeiro Salomon.
Co-orientador: Ademir Abdala Prata Júnior.
Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade
Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2024.

Bibliografia: f. 107-112.
Apêndices: f. 113-130.
Anexos: f. 131-139.

1. Inventário de GEE. 2. GHG Protocol. 3. Mudanças climáticas. 4. Poluição
atmosférica. 5. Aquecimento global. 6. Instituições de ensino superior. I. Título.

CDU: 531.753.8

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente pelo dom da vida, pela proteção, iluminação e sabedoria, por estar sempre presente na minha vida, fortalecendo-me diante das dificuldades ao longo desta caminhada, proporcionando-me forças para suportar o processo e viver o propósito.

Agradeço à minha esposa, June Clese, pelo companheirismo, apoio incondicional, motivação e dedicação. Seu constante incentivo e crença em meus objetivos, assim como seus ensinamentos diários, me estimularam a nunca desistir do meu sonho. "Ao lado de um grande homem há uma grande mulher." Não sou um grande homem, mas tenho uma grande mulher. — Augusto Cury.

Agradeço aos meus abençoados filhos, Ana Sofia e Arthur Levi, por me inspirarem a sempre buscar o melhor.

Aos meus pais, Manoel e Celina, por me ensinarem que a educação não transforma o mundo, mas muda as pessoas, e são elas que transformam o mundo. A eles, minha gratidão e meu amor incondicional.

Às minhas irmãs, por torcerem e acreditarem na realização deste estudo.

Agradeço ao professor Igor Cavalcante pelos ensinamentos e apoio na área de sistemas Fotovoltaico (FV).

Agradeço aos meus orientadores, Prof^a. Dr^a. Karina Ribeiro Salomon e ao Prof. PhD. Ademir Abdala Prata Júnior, pelos ensinamentos, confiança e apoio que viabilizou a construção desta dissertação.

Aos amigos e colegas, em especial a Francisco Aureliano e Keke Rosberg e a todos que contribuíram com dados e conhecimento importantes nesta pesquisa.

A todos aos professores do PPGRHS/UFAL.

A Universidade Federal de Alagoas (UFAL), uma instituição pública federal de ensino superior que desempenha um papel primordial na formação de inúmeras pessoas, proporcionando acesso à educação, com qualidade e excelência àqueles que não tem condições de pagar.

Aos servidores do Campus Sertão que contribuíram com dados e conhecimento, em especial ao professor Dr. Antônio Pedro de Oliveira Netto pelos ensinamentos e apoio na área de efluentes domésticos (fossas verdes).

Gratidão a todos que torceram por esta realização.

“Aprendi que os sonhos transformam a vida numa grande aventura. Eles não determinam o lugar aonde você vai chegar, mas produzem a força necessária para arrancá-lo do lugar em que você está. Nunca desista de seus sonhos”.

Augusto Cury.

Santos, Romildo Lourenço dos Santos. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa (GEE): Estudo de caso na Universidade Federal de Alagoas, Campus Sertão**. 135f. 2024. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento), Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento (PPGRHS), Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, 2024.

RESUMO

No contexto de mitigação das mudanças climáticas e do aquecimento global, é essencial destacar o papel das Instituições de Ensino Superior (IES) no cenário ambiental e no compromisso contínuo com a sustentabilidade. Um aspecto relevante é a contabilização das emissões de GEE originadas de suas atividades por meio da elaboração de inventários. Neste contexto, esta pesquisa teve como objetivo elaborar o inventário de emissões de GEE decorrentes das atividades da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) no Campus Sertão, em Delmiro Gouveia, referente aos anos de 2018, 2020 e 2022. A escolha da série histórica de 2018, 2020 e 2022 para o inventário permitiu uma comparação que considera o impacto da pandemia de COVID-19 em 2020, facilitando a proposição de um plano de redução das emissões. A metodologia seguiu quatro etapas distintas: revisão de literatura, caracterização da área de estudo, produção do inventário de emissões de GEE e um plano de redução das emissões. O inventário e o plano foram baseados na metodologia do Programa GHG Protocol (2023.0.3) e nas diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) para tratamento de efluentes (fossa séptica). As emissões de GEE estimadas da UFAL Campus Sertão tiveram uma média aritmética de aproximadamente 83,84 tCO₂e, com 69,30% de emissões diretas e 21,56% para emissões indiretas. As principais fontes de emissão foram a combustão móvel e o consumo de energia elétrica, representando uma média aritmética de 44,58 tCO₂e e 18,08 tCO₂e, respectivamente. O estudo apresentou um plano de redução das emissões de GEE, com propostas de mitigação e compensação que podem reduzir as emissões em até 68,03%. A substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis na frota oficial reduzirá as emissões diretas de 28,27 tCO₂e para 17,36 tCO₂e, uma redução de 38,59%. A implementação de um sistema fotovoltaico (FV) de 167 kWp projetado, juntamente com uma análise de viabilidade econômica para o Campus Sertão demonstrou ser economicamente viável e capaz de compensar integralmente o consumo de energia elétrica, economizando aproximadamente R\$ 13.435.196,61 ao longo de 25 anos, com um tempo de retorno do investimento de 3 anos e 8 meses. O reflorestamento com 135 árvores nativas compensará as emissões restantes, e o envolvimento da comunidade científica do Campus em um esforço coletivo de plantio pode gerar um crédito de carbono de aproximadamente 412 tCO₂e, promovendo um avanço significativo na mitigação dos efeitos climáticos na UFAL Campus Sertão.

Palavras-chave: Inventário de GEE; GHG Protocol; Mudanças climáticas; Poluição atmosférica; Aquecimento global; IES.

Santos, Romildo Lourenço dos Santos. **Greenhouse gas (GHG) emissions inventory: Case study at the federal university of Alagoas, Campus Sertão**. 135f. 2024. Dissertation (Master's in Water Resources and Sanitation), Postgraduate Program in Water Resources and Sanitation (PPGRHS), Technology Center of the Federal University of Alagoas – UFAL, Maceió, 2024.

ABSTRACT

In the context of mitigating climate change and global warming, it is essential to highlight the role of Higher Education Institutions (HEIs) in the environmental landscape and their ongoing commitment to sustainability. A key aspect is the accounting of greenhouse gas (GHG) emissions from their activities through the creation of emission inventories. This research aimed to develop a GHG emissions inventory for the activities of the Federal University of Alagoas (UFAL) at the Sertão Campus in Delmiro Gouveia for the years 2018, 2020, and 2022. The chosen historical series of 2018, 2020, and 2022 allows for a comparison that considers the impact of the COVID-19 pandemic in 2020, facilitating the proposal of an emissions reduction plan. The methodology followed four distinct stages: literature review, characterization of the study area, production of the GHG emissions inventory, and development of an emissions reduction plan. The inventory and plan were based on the methodology of the GHG Protocol Program (2023.0.3) and the guidelines of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) for wastewater treatment (septic tanks). The estimated GHG emissions from UFAL Sertão Campus averaged approximately 83.84 tCO₂e, with 69.30% direct emissions and 21.56% indirect emissions. The main sources of emissions were mobile combustion and electricity consumption, representing an average of 44.58 tCO₂e and 18.08 tCO₂e, respectively. The study presented an emissions reduction plan with mitigation and compensation proposals that could reduce emissions by up to 68,03%. Replacing fossil fuels with biofuels in the official fleet will reduce direct emissions from 28.27 tCO₂e to 17.36 tCO₂e, a 38.59% reduction. Implementing a designed 167 kWp photovoltaic (PV) system, along with an economic feasibility analysis for the Sertão Campus, demonstrated economic viability and the potential to fully offset electricity consumption, saving approximately R\$ 13,435,196.61 over 25 years, with a payback period of 3 years and 8 months. Reforesting with 135 native trees will offset the remaining emissions, and involving the scientific community of the campus in a collective planting effort can generate a carbon credit of approximately 412 tCO₂e, significantly advancing climate mitigation efforts at UFAL Sertão Campus.

Keywords: GHG Inventory; GHG Protocol; Climate Change; Air Pollution; Global Warming; IES.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ranking das emissões no Brasil por bioma em 2022.....	20
Figura 2 – Comparativo das emissões de infraestruturas a base de combustíveis fósseis.	21
Figura 3 – Redução de emissões necessárias para manter o 1,5°C ao alcance	22
Figura 4 – Emissões de GEE na União Europeia por setor em 2019.....	24
Figura 5 - Emissões de GEE do Estado de Alagoas (AL) no ano de 2022.	25
Figura 6 – Seis passos básicos para elaboração do inventário de GEE	29
Figura 7 - Ideia geral dos escopos e emissões ao longo da cadeia de valor	31
Figura 8 - Gestão da qualidade do inventário	33
Figura 9 - Comparativo de emissões por métodos de acordo com suas atividades..	37
Figura 10 - Estimativa de emissões em tCO ₂ e por escopo.	38
Figura 11 - Estimativa de emissões mensais de GEE da Cornell University em 2019, 2020.	40
Figura 12 - Número total de emissões por categoria.....	41
Figura 13 - Fluxograma da metodologia.....	42
Figura 14 - Localização do Campus da UFAL em Delmiro Gouveia/AL	44
Figura 15 - Fluxograma da metodologia de execução do inventário de emissões de GEE.....	45
Figura 16 - Menu da ferramenta GHG Protocol versão 2023.0.3	48
Figura 17 – Média das emissões totais da UFAL, Campus Sertão por escopo nos anos inventariados.....	62
Figura 18 – Emissões em toneladas de CO ₂ equivalente por tipo GEE da UFAL Campus Sertão, considerando a média aritmética do triênio.	63
Figura 19 – Estimativa das emissões totais em tCO ₂ e da UFAL Campus Sertão no período de 2018, 2020 e 2022 e média aritmética do Triênio.	64
Figura 20 – Comparação das categorias de emissões de GEE do escopo 1 e a média do triênio.....	71
Figura 21 - Percentual da estimativa de emissões por categoria escopo 1 no triênio de 2018, 2020 e 2022.	72
Figura 22 - Percentual da estimativa das emissões biogênicas da UFAL Campus Sertão em relação aos anos inventariados.	76

Figura 23 - Estimativa de redução das emissões (tCO ₂ e) atribuída à combustão móvel referente ao ano 2022.	81
Figura 24 - Consumo anual X Geração anual do sistema FV de 167 (kWp) projetado	83
Figura 25 - Comparação do consumo médio anual de energia X Geração média anual sistema FV de 167 (kWp)	84
Figura 26 - Consumo Campus Sertão X Geração FV miniusina de 129 (kWp) Campus A.C.Simões	85
Figura 27 - Percentual de mitigação geração FV projetada de 167 (kWh)	86
Figura 28 – Estimativa de emissões totais (tCO ₂ e) X Mitigação FV projetada Campus Sertão em relação ao Sistema FV Miniusina Campus A.C.Simões	87
Figura 29 – Localização do estacionamento da UFAL Campus Sertão.	89
Figura 30 – Imagem ilustrativa do carport com 2 linhas de placas solares para o estacionamento da UFAL Campus Sertão.	90
Figura 31 - Consumo médio anual de energia X Geração média anual FV de 167 (kWp)	91
Figura 32 - Payback do investimento do valor da conta de energia elétrica	93
Figura 33 - Fluxo de caixa anual do investimento lucro/economia nos 25 anos do sistema FV	94
Figura 34 - Área designada para implantação de uma Fossa Verde no Campus Sertão	96
Figura 35 - Esquema ilustrativo da Fossa Verde.....	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fontes de emissão e potencial de aquecimento dos principais GEE.....	27
Tabela 2 – Principais métodos e iniciativas utilizadas na elaboração de inventário de GEE.....	31
Tabela 3 - Resultados das emissões de GEE pelas IES.....	35
Tabela 4 - Estimativas de emissões comparativas de GEE de outras universidades	39
Tabela 5 - Fatores de emissão por tipo de combustível	49
Tabela 6 - Fatores de emissão por tipo de combustível	50
Tabela 7 – Capacidade de gás de acordo com sua capacidade em BTUs.	51
Tabela 8 – Fatores de emissão para viagens aéreas a negócios	56
Tabela 9 – Estimativa das Emissões de GEE por escopo, categoria e média do triênio.	65
Tabela 10 – Estimativa de emissões de GEE por Combustão Estacionária	66
Tabela 11 – Estimativa de emissões de GEE por Combustão móvel, UFAL Campus Sertão.....	67
Tabela 12 – Estimativa de emissões de GEE por Emissões fugitivas.....	68
Tabela 13 – Dados da fossa séptica utilizada para tratamento de efluente	70
Tabela 14 – Emissões de GEE da fossa séptica utilizada para tratamento de efluente	70
Tabela 15 – Estimativas das emissões do escopo 2 e a média aritmética do triênio referentes ao consumo de energia elétrica da UFAL Campus Sertão.	73
Tabela 16 – Estimativa de emissões das viagens a negócios aéreas por trajeto durante o período inventariado.....	74
Tabela 17 – Estimativa de emissões de CO ₂ biogênico das atividades da UFAL Campus Sertão no período inventariado	76
Tabela 18 – Indicadores de população X Emissões per capita de GEE por ano, UFAL Campus Sertão.	77
Tabela 19 - Análise comparativa entre o inventário da UFAL Campus Sertão X IES em nível nacional	78
Tabela 20 – Comparativo entre as estimativas das emissões decorrente do consumo de combustível fósseis e renováveis.....	80

Tabela 21 – Fluxo de caixa anual cumulativo do sistema FV.....	92
Tabela 22 – Número de árvores necessárias para compensação do carbono emitido pela UFAL Campus Sertão.....	95
Tabela 23 – Estimativa de redução das emissões de GEE no Campus Sertão através das propostas de mitigação e compensação	100
Tabela 24 – Dados do consumo de combustível do Campus Sertão no período inventariado.....	131
Tabela 25 – Informações dos tipos de veículos e quantitativo por ano do inventário.	131
Tabela 26 – Informações sobre o consumo anual (Ton) GLP no RU.....	132
Tabela 27 – Informações dos equipamentos que liberaram emissões fugitivas no por ano do inventário.....	133
Tabela 28 – Informações do consumo de energia elétrica no período inventariado	134
Tabela 29 – Dados das viagens aéreas a negócios no período inventariado	135

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fontes de emissões de GEE identificadas	46
Quadro 2 – Processo de coleta de dados na UFAL Campus Sertão	47
Quadro 3 - Referência adotada para avaliação do fluxo de caixa	88
Quadro 4 - Iniciativas e estratégias de mitigação relacionadas às categorias do Campus Sertão	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACE 5 - Atividade Curricular de Extensão
ANEEL - Agência Nacional De Energia Elétrica
CF6 – Hexafluoreto de enxofre
CH4 - Metano
CO₂ – Gás Carbônico
CO₂e – Gás Carbônico Equivalente
COD - Composição Orgânica Degradada
COP - Conferência das Partes
CQNUMC - Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
FCM - Fator de Correção de Metano
FE – Fator de Emissão
FGV – Fundação Getúlio Vargas
FV - Fotovoltaico
GEE – Gases de Efeito Estufa
GHG – Greenhouse Gas (Gases de Efeito Estufa)
GLP – Gás Liquefeito de Petróleo
GWP – Potencial de Aquecimento Global
HFC – Hidrofluorcarbono
HFCs – Hidrofluorcarbonetos
IES – Instituição de Ensino Superior
IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
ISO - Organização Internacional de Normalização
N₂O – Óxido Nitroso
NBR – Norma Técnica Brasileira
ONU – Organização das Nações Unidas
PFC – Perfluorcarbonos
PFCs – Perfluorcarbonetos
SCDP - Sistema de controle de passagens
SIN - Sistema Interligado Nacional
SINFRA - Superintendência de Infraestrutura
tCO₂e – Tonelada de Gás Carbônico Equivalente

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2.1 Objetivo Geral	18
2.2 Objetivos Específicos	18
3. REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS	19
3.2 GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE).....	25
3.2.1 Principais Gases de Efeito Estufa (GEE)	26
3.2.2 Gases de efeito estufa a serem incluídos no inventário de emissões	27
3.2.3 Inventário de emissões de GEE	28
3.2.4 Principais ferramentas de gestão relacionadas ao gerenciamento dos GEE ...	28
3.2.5 Importância do Inventário de emissões de GEE	33
3.3 GESTÃO DAS EMISSÕES EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR - IES	34
3.4 ESTUDOS DE CASOS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR - IES.....	36
3.4.1 Uma revisão de literatura sobre Pegada de carbono em Instituições de Ensino Superior.....	36
3.4.2 Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil	36
3.4.3 Campus Universitário Público na Cidade do México	38
3.4.4 Cornell University	40
3.4.5 Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Mourão	41
4. METODOLOGIA	42
4.1 REVISÃO DE LITERATURA	43
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	43
4.3 METODOLOGIA DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE.....	44
4.3.1 Coleta dos Dados.....	46
4.3.2 Cálculo das Emissões	48
4.4 PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÃO DE GEE.....	57
4.4.1 Proposta de Mitigação.....	58
4.4.2 Proposta de Compensação	60
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
5.1 EMISSÕES DIRETAS - ESCOPO 1	66
5.1.1 Categoria – Combustão estacionária	66
5.1.2 Categoria – Combustão móvel	66

5.1.3. Categoria – Emissões Fugitivas	68
5.1.4. Categoria – Tratamento de Efluentes Líquidos	69
5.2 EMISSÕES INDIRETAS - ESCOPO 2	72
5.2.1 Consumo de Energia Elétrica	72
5.3 EMISSÕES INDIRETAS – ESCOPO 3	74
5.3.1 Viagens Aéreas a Negócio	74
5.4 EMISSÕES BIOGÊNICAS	75
5.5 COMPARATIVO DE INVENTÁRIOS DA UFAL CAMPUS SERTÃO E IES EM NÍVEL NACIONAL	77
5.6 PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÃO DE GEE	79
5.6.1 Redução das emissões através da proposta de mitigação	80
5.6.2 Ferramenta empregada na análise de viabilidade econômica do sistema FV 167 kWp.	87
5.6.3 Análise de viabilidade econômica do sistema fotovoltaico de 167 kWp.	88
5.6.4 Viabilidade econômica do sistema FV	91
5.6.5 Redução das emissões por meio da proposta de Compensação	94
5.6.6 Iniciativas e estratégias de mitigação de GEE	97
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS	101
REFERÊNCIAS	104
APÊNDICE A – ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	110
ANEXO A - CAMPUS SERTÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS (UFAL)	128
ANEXO B - INFORMAÇÕES SOBRE O CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS NO PERÍODO INVENTARIADO	131
ANEXO C – INFORMAÇÕES SOBRE COMBUSTÃO ESTACIONÁRIA NO PERÍODO INVENTARIADO	132
ANEXO D – INFORMAÇÕES SOBRE AS EMISSÕES FUGITIVAS NO PERÍODO INVENTARIADO	133
ANEXO E – INFORMAÇÕES SOBRE O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA POR ANO DO INVETARIADO	134
ANEXO F - INFORMAÇÕES SOBRE AS VIAGENS AÉREAS A NEGÓCIO NO PERÍODO INVETARIADO	135

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a discussão sobre as mudanças climáticas tem se intensificado devido ao aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) resultantes das atividades humanas, o que tem contribuído para o aumento da temperatura média na terra. Como resultado, várias conferências sobre poluição atmosférica e questões relacionadas às mudanças climáticas foram e continuarão sendo realizadas com o propósito de tomar decisões sobre os esforços para controlar as emissões de GEE.

Embora o Brasil não tenha uma meta obrigatória para a redução das emissões de GEE, o país voluntariamente se comprometeu a reduzir entre 36,1% e 38,9% suas emissões até 2020, conforme estabelecido no Plano Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC), Lei 12.187 de 29 de dezembro de 2009. Como resultado, o Brasil aderiu às metas globais de transição dos sistemas energéticos rumo à neutralidade climática até 2050, conforme estipulado no Acordo de Paris, que busca limitar o aumento da temperatura a 1,5°C em relação aos níveis pré-industriais.

No contexto de combate às mudanças climáticas, volta-se a atenção para o papel de liderança das Instituições de Ensino Superior (IES) na contabilização das emissões de GEE resultantes de suas atividades. Uma maneira de quantificar os gases gerados é através da elaboração de um inventário, que pode ser realizado em empresas, universidades, cidades ou qualquer outra atividade que gere esses gases (Cruz, 2020).

Nesse sentido, diversas empresas e nações cientes da seriedade do problema estão se empenhando em ações corretivas e preventivas que visam harmonizar, de maneira sustentável, o crescimento econômico, a preservação ambiental e a justiça social (Dias et al., 2022).

O desenvolvimento de um inventário é a primeira etapa na criação de programas voltados à gestão e gerenciamento das emissões de GEE (Júnior et al., 2022). Uma vez determinada as fontes e seu potencial de emissão são possíveis planejar métodos e ações para alcançar a redução desejada (Klein-Banaie et al., 2013).

No caso especial de universidades, essa iniciativa é também relevante como parte da formação educacional dos alunos, incentivando-os para o desenvolvimento

de novas soluções que possam prevenir e combater o aquecimento global, bem como outros impactos decorrentes das mudanças climáticas (Carvalho et al., 2017).

As emissões de GEE continuam a aumentar à medida que o consumo humano de energia se intensificou ao longo dos anos em que a queima de combustíveis fósseis foi a principal fonte de energia. Para tanto, as instituições devem embarcar em planos sustentáveis que facilitem e monitorem os impactos ambientais negativos das instalações e atividades do campus que consomem muita energia, principalmente de infraestruturas e atividades de transporte no campus (Kabit et al., 2022). Ademais, a questão das alterações climáticas deixou de ser apenas uma curiosidade científica e uma das muitas preocupações ambientais e tornou-se a principal questão ambiental do nosso tempo e o maior desafio para os pesquisadores ambientais (Ribeiro et al., 2021).

Sob essa perspectiva, a aplicação de medidas de gestão ambiental adequadas às alterações climáticas requer a liderança do maior número de atores possível, uma vez que as mudanças nos padrões de produção e consumo devem ser feitas o mais rapidamente possível (Varón-Hoyos et al., 2021).

Nesse contexto, é bem reconhecido que as IES produzem grandes quantidades de emissões de GEE devido a estudantes, pessoal e mobilidade, mas também devido ao consumo de energia no campus (Filimonau et al., 2021).

Progressivamente, as IES vêm incorporando estratégias e ações de desenvolvimento sustentável, como organizações comprometidas com o ensino, pesquisa e serviços comunitários, desempenham um papel crucial e significativo em ajudar a sociedade a enfrentar os desafios climáticos e ambientais (Valls-Val et al., 2021). Embora, para os países em desenvolvimento, existem poucos estudos desenvolvidos que analisam as emissões de gases de efeito estufa geradas pelas universidades. A escassez é mais evidente nas universidades latino-americanas (Vásquez et al., 2015).

Adotar novas tecnologias e práticas apoiadas por suas pesquisas e incentivar as gerações mais jovens a desenvolver uma consciência para a sustentabilidade e ações favoráveis ao clima são caminhos possíveis (Kiehle et al., 2023).

Nesse sentido, decidiu-se realizar o trabalho de pesquisa na Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Campus do Sertão, em Delmiro Gouveia, devido ao seu menor tamanho em comparação aos demais campi. Considerando a complexidade na coleta de dados e outros fatores relevantes, destaca-se também a localização da

universidade na região semiárida do sertão. A importância deste trabalho reside no fato de que a universidade ainda não desenvolveu seu primeiro inventário de emissões de GEE. Sendo este de grande relevância para que a instituição e a comunidade acadêmica conheçam seu nível de emissão de GEE e suas principais fontes, além de contribuir na formação dos alunos, incentivando-os para o desenvolvimento de novas soluções que possam prevenir e combater os impactos decorrentes das mudanças climáticas entre outros processos socioambientais.

Nesse sentido, vale destacar que a escolha dos anos (2018, 2020 e 2022) para elaboração do inventário de emissões de GEE da UFAL Campus Sertão tem como objetivo fazer uma comparação entre os anos, levando-se em consideração a Pandemia do COVID-19 no ano de 2020 que contribuiu significativamente com as emissões no Campus, bem como propor um plano de redução das emissões que promoverá oportunidades para mitigar ou compensar as suas emissões por meio da adoção de tecnologias limpas, mudanças comportamentais, incentivos e implementação de políticas institucionais. Além disso, incentivar a Universidade a buscar meios de expandir em infraestrutura de forma sustentável, levando-se em consideração as suas emissões. Ao tempo que, a IES fomenta o desenvolvimento socioeconômico local, pois atua, além do ensino, na pesquisa e na extensão.

2. OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS

2.1 Objetivo Geral

Elaborar o inventário de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) decorrentes das atividades da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) no Campus Sertão, em Delmiro Gouveia, referente aos anos de 2018, 2020 e 2022.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar as principais fontes de emissão de GEE nas atividades da UFAL Campus Sertão em Delmiro Gouveia;
- Quantificar as emissões de GEE em cada fonte identificada, utilizando metodologias reconhecidas internacionalmente, como o Protocolo GHG (Greenhouse Gas Protocol) referente aos anos de 2018, 2020 e 2022;
- Propor um plano de redução das emissões da UFAL Campus Sertão através de propostas de mitigação e compensação de emissões de GEE, definindo medidas específicas, responsabilidades, prazos e metas quantitativas e qualitativas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Com a finalidade de fornecer uma visão geral acerca do tema proposto, foram reunidos diversos estudos que integram a revisão de literatura.

Estabeleceu-se então os seguintes conceitos: Mudanças climáticas; Gases de Efeito Estufa (GEE); Principais gases de efeito estufa; Gases de efeito estufa a serem incluídos no inventário de emissões; Inventário de emissões de gases de efeito estufa (GEE); Principais ferramentas de gestão relacionadas ao gerenciamento dos GEE; Importância do Inventários de emissões de GEE; Gestão das emissões em Instituições de Ensino Superior (IES); Estudos de casos em instituições de ensino superior – IES.

3.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

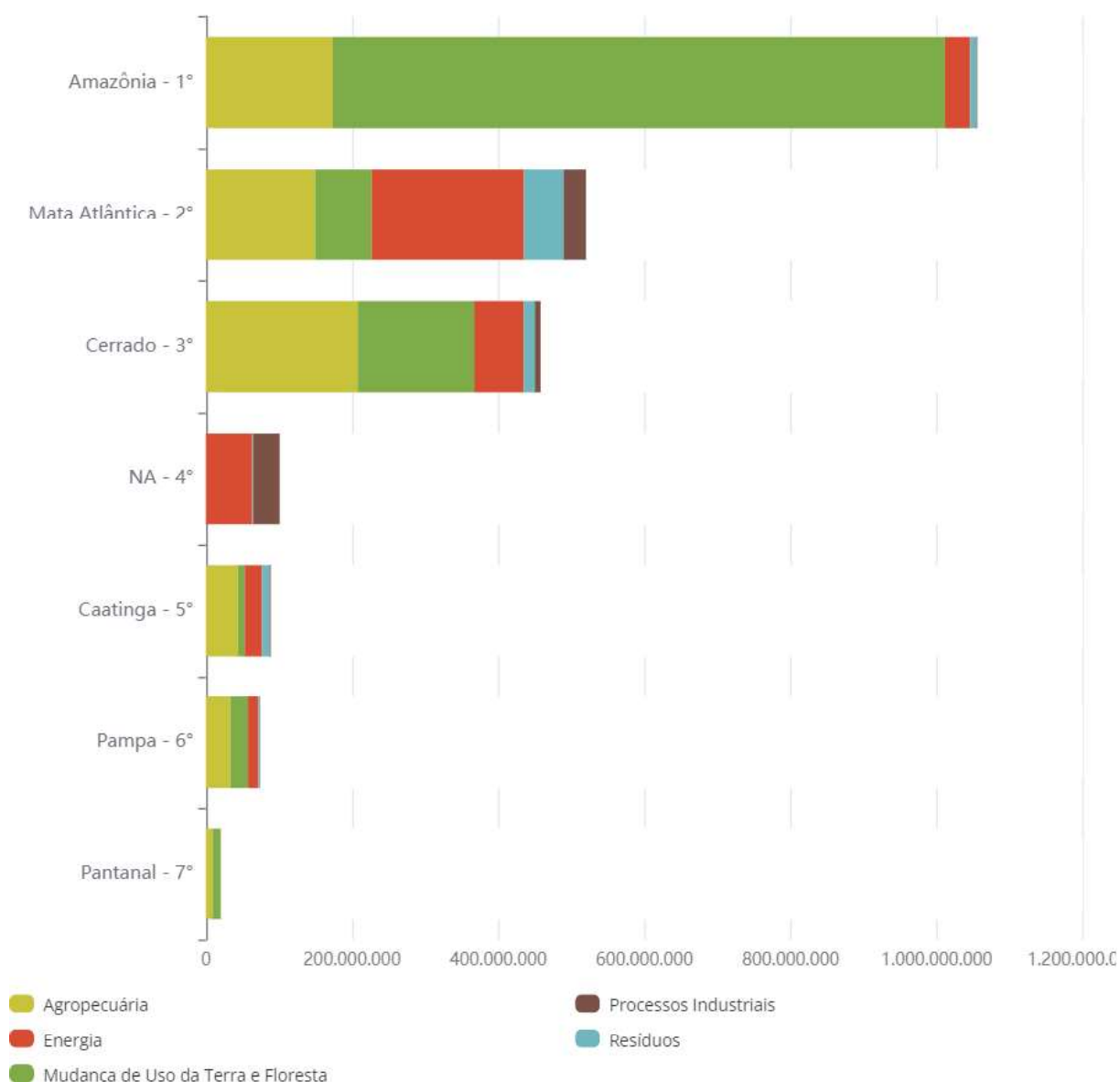
As mudanças climáticas têm sido apontadas, hoje, como um dos maiores desafios da humanidade. O Brasil está altamente exposto aos riscos das mudanças climáticas. Os impactos dos riscos globais das mudanças climáticas e das práticas locais nos biomas da Amazônia e do Cerrado são particularmente preocupantes, pois eles prestam serviços ecossistêmicos vitais ao Brasil, à América do Sul e ao mundo (Mundial, 2023).

Fazendo referência ao Bioma Caatinga do Município de Delmiro Gouveia, onde o estudo de caso está inserido é importante destacar a região do semiárido mais populosa e que mais precisa adaptar-se aos efeitos dos impactos das mudanças climáticas no cenário global.

A Caatinga é um dos seis biomas brasileiros e ocupa a maior parte da área com clima semiárido da região Nordeste do Brasil. Entre as atividades econômicas locais de maior representatividade, está a agropecuária (EMBRAPA, 2024).

A Figura 1 mostra o ranking das emissões no Brasil por bioma em 2022, levando-se em consideração as emissões brutas, isto é, sem desconto das remoções, analisada por setor de emissão.

Figura 1 – Ranking das emissões no Brasil por bioma em 2022.



Fonte: Adaptado de SEEG, (2022).

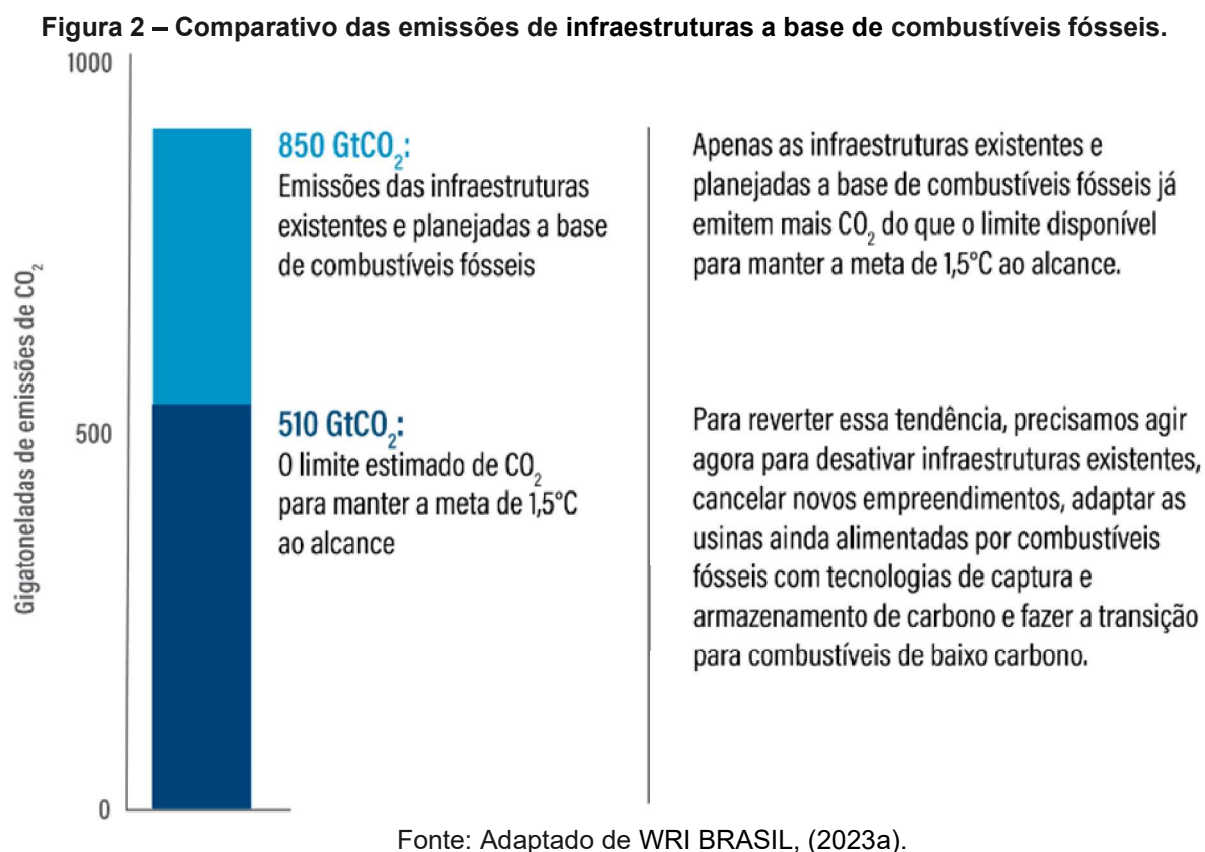
Observa-se no gráfico o bioma Amazônia (1º no ranking) no setor de Mudança de uso da Terra e Floresta lidera as emissões, seguido da Mata Atlântica no setor de energia e Cerrado na agropecuária, satisfazendo o 2º e 3º no ranking respectivamente (SEEG, 2022).

De acordo com um artigo científico publicado pela Revista Nature, Amazônia corre risco de entrar em colapso em 2050. A pesquisa liderada por pesquisadores brasileiros aponta que se não forem tomadas medidas urgentes, o ano de 2050 pode marcar o início de uma redução substancial na cobertura de floresta na região amazônica (Agência Brasil, 2024).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014) mostra que, nas trajetórias que limitam o aquecimento a 1,5°C (com ou sem excedente), apenas 510 Gt líquidas de CO₂ ainda poderiam ser emitidas antes de chegarem ao zero líquido por volta da metade do século (2050-2055). No entanto, as projeções das emissões futuras de CO₂ provenientes da infraestrutura baseada em combustíveis fósseis já existente ou já planejada indicam que as emissões chegarão a 850 Gt, ou seja, – 340 Gt acima do limite (WRI BRASIL, 2023a).

O Painel também alerta que o aumento da temperatura média tende a causar o agravamento da insegurança alimentar e hídrica, em todo o mundo (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2023)

A Figura 2 mostra um comparativo entre as emissões de CO₂ das infraestruturas existentes e planejadas a base de combustíveis fósseis.



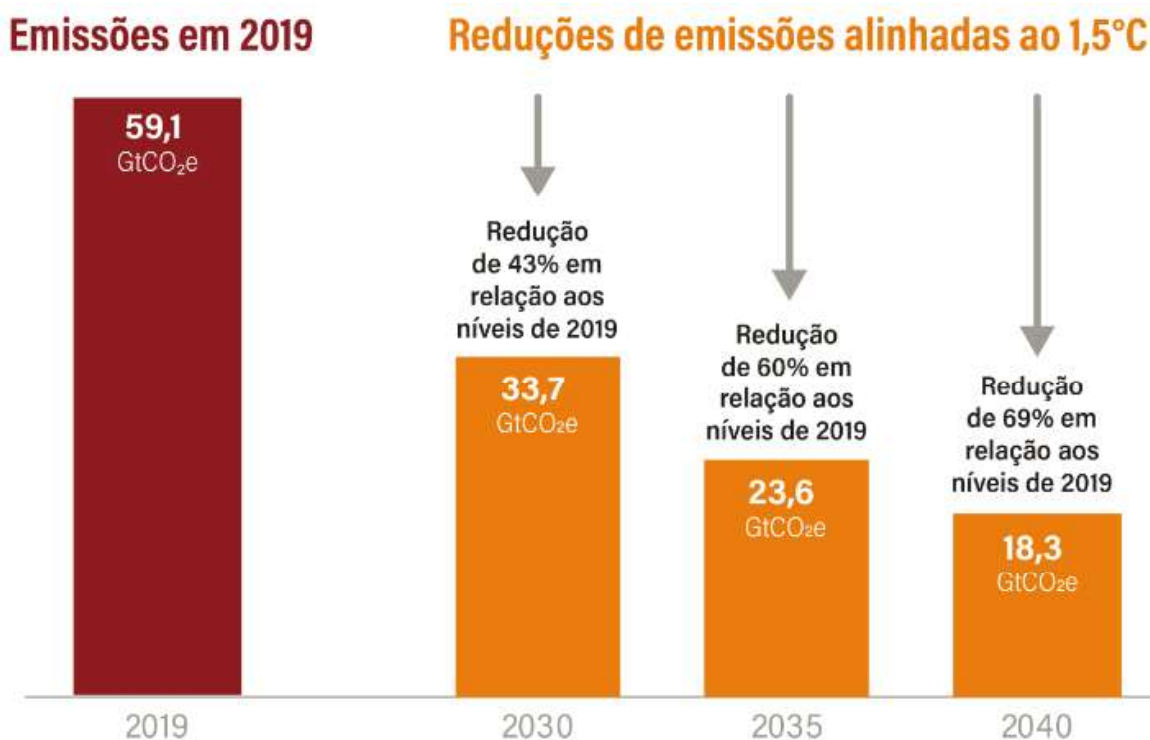
No quinto relatório, apresentado pelo IPCC em 2014, foi confirmada a influência direta da ação humana no sistema climático. O relatório afirmou que a contínua emissão de GEE na atmosfera causaria mais aquecimento global e mudanças em todos os componentes do sistema climático, aumentando a probabilidade de impactos

generalizados e irreversíveis para pessoas e ecossistemas. O documento também estabeleceu que a limitação das alterações climáticas exigiria reduções substanciais e sustentadas das emissões de GEE (IPCC, 2014).

O IPCC conclui, entre os cenários estudados, que há mais de 50% de chance de a temperatura global atingir ou ultrapassar 1,5°C entre 2021 e 2040. E, especificamente em um cenário de emissões extremamente altas, o mundo pode atingir esse limiar ainda mais cedo – entre 2018 e 2037. Mudar o rumo para manter o aquecimento global em 1,5°C (sem ultrapassar esse limite ou com uma margem pequena de ultrapassagem) exige uma redução profunda das emissões de GEE em curto prazo. Nos cenários que mantêm o aquecimento global dentro dessa meta, o pico das emissões de GEE acontece imediatamente antes de 2025, no mais tardar. Em seguida, as emissões caem drasticamente – 43% até 2030 e 60% até 2035 em relação aos níveis de 2019 (WRI BRASIL, 2023b).

A Figura 3 mostra uma análise dos caminhos que mantêm o aquecimento global dentro do limite de 1,5°C ou com uma margem pequena de ultrapassagem.

Figura 3 – Redução de emissões necessárias para manter o 1,5°C ao alcance



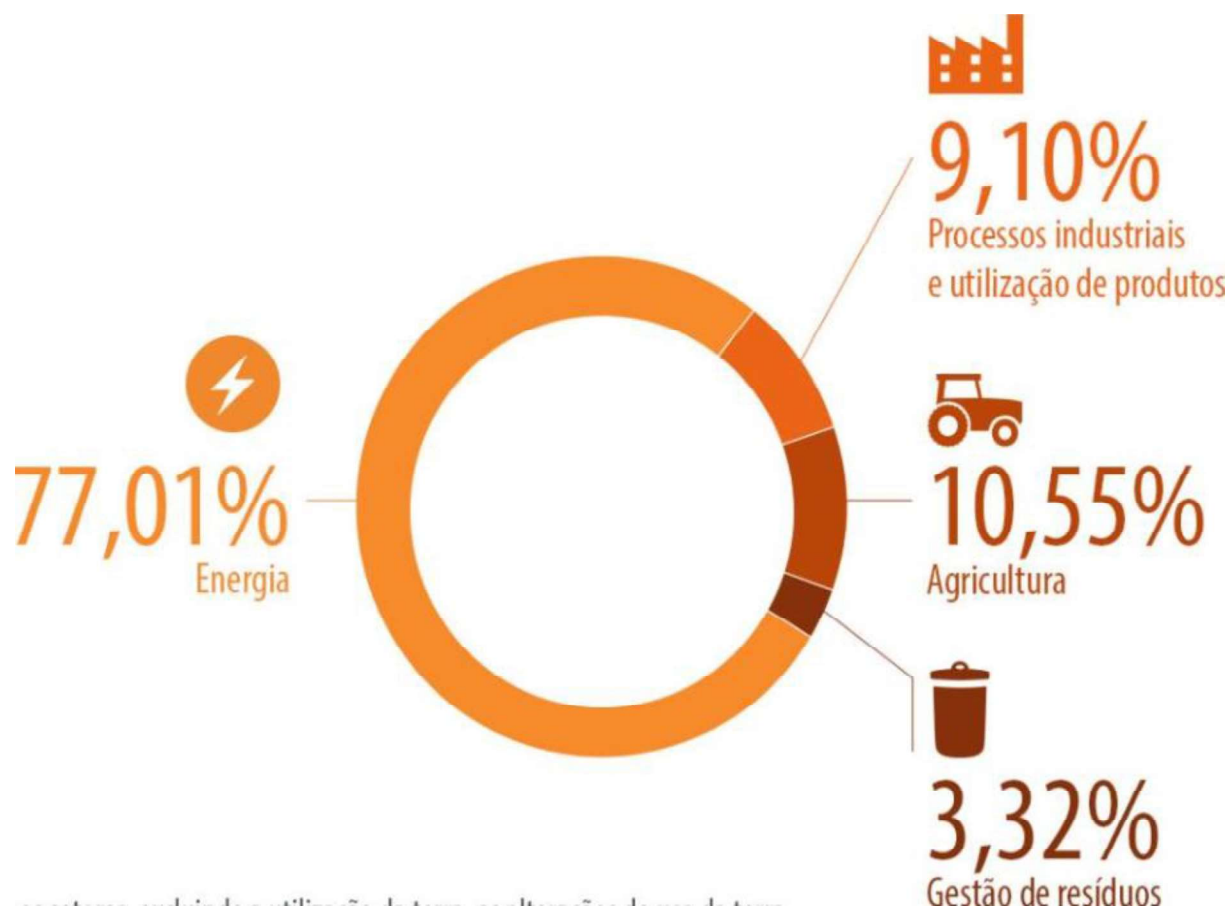
Fonte: Adaptado de WRI BRASIL, (2023b).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima é importante destacar a questão da justiça climática, pois é vista como um componente essencial do novo Plano Clima, uma vez que reconhece que a transição para uma economia com baixa emissão de carbono deve ser acompanhada por uma transição justa, que promova o desenvolvimento sustentável, combata as desigualdades e fortaleça a resiliência do país (Gov.br, 2024).

Ainda segundo o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, Indivíduos sujeitos a várias formas de desigualdade, como econômica, social, de gênero, de raça e etnia, enfrentam uma vulnerabilidade ainda maior aos impactos das mudanças climáticas. Embora contribuam menos para as emissões de CO₂, as pessoas de baixa renda são as mais prejudicadas pelos efeitos adversos das mudanças climáticas e têm menos acesso a opções de adaptação (Gov.br, 2024).

De acordo com os dados da Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre as Alterações Climáticas, a Figura 4 mostra as emissões de GEE na União Europeia (EU) em 2019, classificadas em função das principais fontes. O setor da energia foi responsável por 77,01% das emissões de GEE, das quais os transportes representam perto de um terço. Seguido das emissões da agricultura com 10,55%, os processos industriais e a utilização de produtos com 9,10% e a gestão de resíduos é responsável por 3,32%, respectivamente (CQNUNC, 2023).

Figura 4 – Emissões de GEE na União Europeia por setor em 2019.

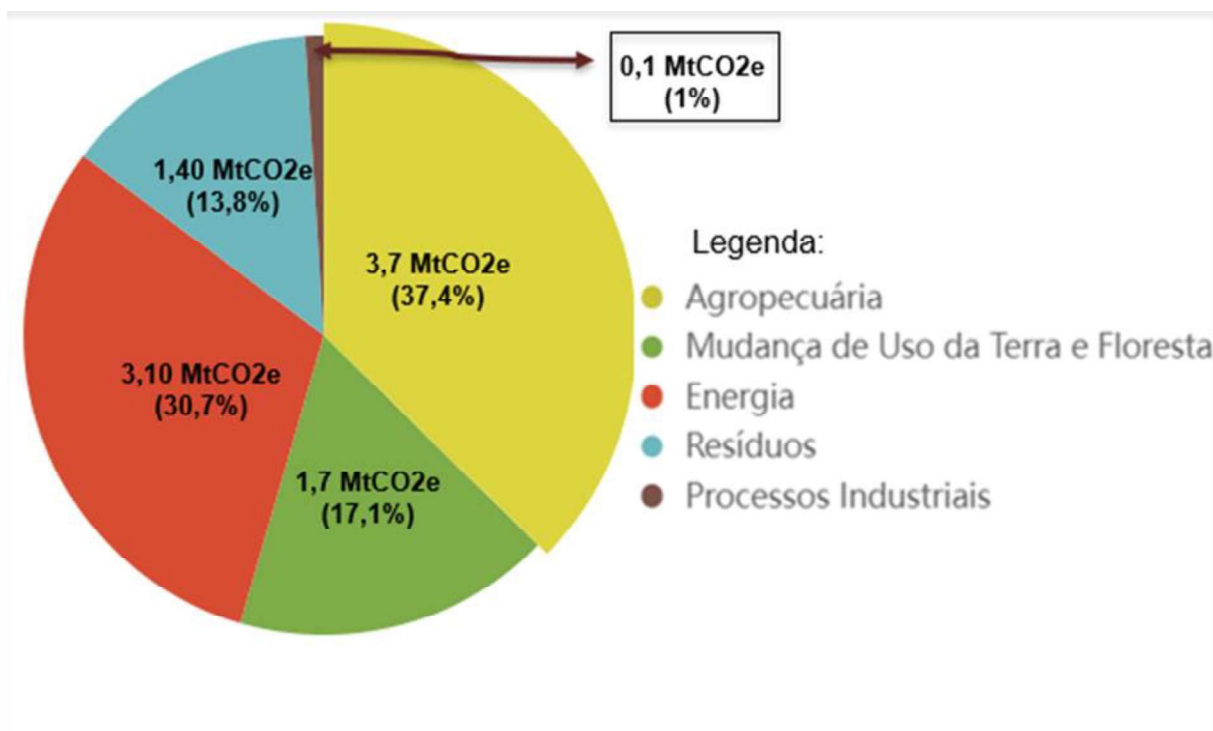


Fonte: Adaptado de CQNUNC, (2023).

O Brasil emitiu cerca de 1.469,64 milhões de toneladas de CO₂ equivalente, representando 3,09% das emissões globais e 6,91 toneladas de CO₂ equivalente que representa 33,84% das emissões per capita tCO₂e/pessoa (Climatewatch, 2020).

Fazendo referência as emissões de GEE do Estado de Alagoas (AL) no ano de 2022, o estado está na 21ª posição no ranking de emissões por estado com uma estimativa total bruta de 11,1 MtCO₂e e remoções de 1,1 MtCO₂e, a agropecuária foi o setor que mais emitiu com 3,7 MtCO₂e, correspondendo a 37,4% do total, seguido da energia, mudança de uso da terra e floresta, resíduos e processos industriais, representando 3,10 MtCO₂e (30,7%), 1,7 MtCO₂e (17,1%), 1,40 MtCO₂e (13,8%) e 0,10 MtCO₂e (1%) respectivamente (SEEG, 2022), conforme pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 - Emissões de GEE do Estado de Alagoas (AL) no ano de 2022.



Fonte: Adaptado de SEEG, (2022).

3.2 GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE)

De acordo com a NBR ISSO 14064-1, os gases de efeito estufa são constituintes gasosos da atmosfera, tanto naturais quanto antropogênicos, que absorvem e emitem radiação em comprimentos de onda específicas dentro do espectro de radiação infravermelha emitida pela superfície da terra, atmosfera e nuvens (ABNT, 2022).

O efeito estufa é um processo natural, que ocorre quando uma parte do calor absorvido pela Terra, ao ser refletido de volta, é aprisionado por alguns gases da atmosfera. Porém, esse fenômeno vem se intensificando desde a Revolução Industrial, devido a grande quantidade de gases emitidos pelas atividades antrópicas. Como tais emissões potencializam o efeito estufa, alguns gases da atmosfera passam a reter mais calor, assim aumentando a média de temperatura terrestre de uma forma muito rápida, gerando o que é conhecido hoje como aquecimento global (Boleta *et al.*, 2016).

De acordo com o programa ambiental da Organização das Nações Unidas (ONU) a superfície da Terra absorve cerca de 48% da energia solar recebida, ao passo que a atmosfera absorve 23% e o resto é refletido de volta ao espaço. Os

processos naturais garantem que a quantidade de energia que entra e sai seja igual, mantendo a temperatura do planeta estável. Entretanto, os GEE, ao contrário de outros gases atmosféricos, tais como oxigênio e nitrogênio, absorvem parte da radiação infravermelha emitida. À medida que a concentração de GEE na atmosfera aumenta devido às emissões causadas pela atividade humana, a energia irradiada da superfície fica presa na atmosfera, incapaz de escapar do planeta e essa energia retorna para a superfície, na qual é reabsorvida (UN ENVIRONMENT PROGRAMME, 2023b).

3.2.1 Principais Gases de Efeito Estufa (GEE)

Segundo o programa ambiental da Organização das Nações Unidas (ONU) o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) são os principais GEE. O CO_2 perdura na atmosfera por até mil anos, o metano por cerca de uma década e o óxido nitroso por aproximadamente 120 anos. Com base em um cálculo de 20 anos, o metano é 21 a 25 vezes mais potente do que o CO_2 como causa do aquecimento global e o óxido nitroso é 310 vezes mais potente (UN Environment Programme, 2023b).

Ainda segundo a ONU existem outros gases de efeito estufa que são os gases fluorados — tais como hidrofluorcarbonos, perfluorcarbonos e o hexafluoreto de enxofre — são GEE que não são produzidos naturalmente. Os hidrofluorcarbonos são gases de refrigeração utilizados como alternativas aos clorofluorcarbonos (CFCs), que destroem a camada de ozônio e foram eliminados gradualmente graças ao Protocolo de Montreal. Os outros gases têm usos industriais e comerciais. Embora os gases fluorados sejam muito menos prevalentes do que outros GEE e não empobrecem a camada de ozônio como os CFCs, estes ainda são muito poderosos. Durante um período de 20 anos, o potencial do aquecimento global dos vários gases fluorados atinge de 460 a 16.300 vezes mais do que o do CO_2 (UN Environment Programme, 2023b).

Na tabela 1 são apresentados os principais gases, suas fontes e seus potenciais de aquecimento.

Tabela 1 - Fontes de emissão e potencial de aquecimento dos principais GEE

Gases de efeito estufa	Principais fontes de emissão	Potencial de aquecimento
Dióxido de carbono (CO₂)	Mais abundante dos GEE, é emitido como resultado de inúmeras atividades humanas como, por exemplo, uso de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) e com a mudança no uso da terra (desmatamento).	Referência para classificar o poder de aquecimento dos demais GEE.
Metano (CH₄)	Produzido pela decomposição da matéria orgânica em condições anaeróbicas; fermentação entérica, manejo de dejetos de animais e cultivo de arroz	21 a 25 vezes > CO ₂ ;
Óxido Nitroso (N₂O)	Tratamento de dejetos animais, uso de fertilizantes nitrogenados, da queima de combustíveis fósseis e de alguns processos industriais	310 vezes > CO ₂
Hidrofluorcarbonos (HFCs)	Substitutos dos clorofluorcarbonos (CFCs) em aerossóis e refrigeradores.	140 e 11.700 vezes > CO ₂

Fonte: Adaptado de Gomes, (2020).

3.2.2 Gases de efeito estufa a serem incluídos no inventário de emissões

De acordo com a Fundação Getúlio Vargas (FGV, 2023) os gases de efeito estufa a serem incluídos no inventário de emissões são os constantes no Protocolo de Quioto. Nesse sentido, todos os 3 (três) gases e as duas famílias de gases internacionalmente reconhecidos como gases de efeito estufa regulados pelo Protocolo de Quioto, são:

- Dióxido de carbono (CO₂);
- Metano (CH₄);
- Óxido nitroso (N₂O);

- Hexafluoreto de enxofre (SF₆).
- Hidrofluorocarbonetos (HFCs); e
- Perfluorocarbonetos (PFCs)

3.2.3 Inventário de emissões de GEE

Os inventários de emissões de gases de efeito estufa (GEE) são ferramentas estratégicas de gestão ambiental que estimam as emissões por fontes específicas em área geográfica e intervalo de tempo determinados. O desenvolvimento de um inventário é a primeira etapa na criação de programas voltados à melhoria da qualidade do ar (Júnior et al., 2022).

A elaboração de inventários é o primeiro passo para que uma instituição ou empresa possa contribuir para o combate ao aquecimento global, fenômeno crítico que aflige a humanidade neste início de século. Conhecendo o perfil de emissões, a partir do diagnóstico do inventário, qualquer organização pode dar o passo seguinte, de estabelecer planos e metas para redução e gestão das emissões de gases de efeito estufa, engajando-se na solução desse enorme desafio que atinge o planeta (Barretto et al., 2023)

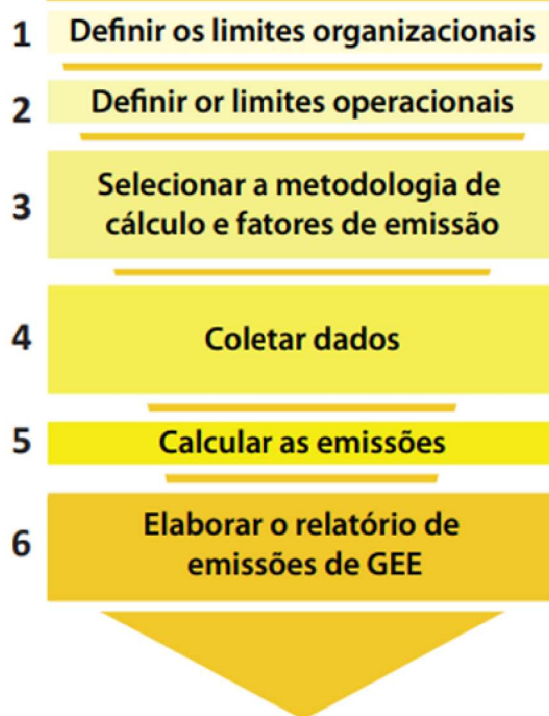
Nesse contexto, a realização do inventário de GEE também permite às empresas enxergarem oportunidades de novos negócios no mercado de carbono, atraírem novos investimentos, ou ainda, planejarem processos que garantam eficiência econômica, energética ou operacional. A oportunidade de inovação costuma derivar desse primeiro passo para a gestão das emissões de GEE. Trata-se, portanto, da lição de casa “número um” que qualquer instituição deve fazer para beneficiar-se de oportunidades e colaborar para a resolução de problemas na direção de uma nova economia de baixo carbono, em respeito às futuras gerações (Barretto et al., 2023)

3.2.4 Principais ferramentas de gestão relacionadas ao gerenciamento dos GEE

Dentre as diferentes metodologias existentes para a realização de inventários de gases do efeito estufa, o GHG Protocol é a ferramenta mais utilizada mundialmente pelas empresas e instituições para entender, quantificar e gerenciar suas emissões.

Nesse contexto, para a realização dos inventários corporativos, o GHG Protocol estabelece seis passos básicos, (Barretto et al., 2023), como mostra a Figura 6.

Figura 6 – Seis passos básicos para elaboração do inventário de GEE



Fonte: Adaptado de (Barretto et al., 2023).

O GHG Protocol foi desenvolvido pelo *World Resources Institute (WRI)* em parceria com o *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)*. A ferramenta oferece diretrizes para contabilização de GEE, com caráter modular e flexível e neutralidade em termos de políticas ou programas. A metodologia do GHG Protocol é compatível com as normas ISO e com as metodologias de quantificação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), e sua aplicação no Brasil acontece de modo adaptado ao contexto nacional. O Programa Brasileiro apoia empresas para realização de seus inventários, incluindo os seguintes aspectos abaixo (Barretto et al., 2023).

- 1) Contabilização, cálculo, elaboração e publicação de relatório de GEE em base voluntária
- 2) Capacitação de empresas e organizações na temática de inventários e temas correlatos

- 3) Plataforma web para divulgação pública dos inventários
- 4) Espaço de intercâmbio de informações entre instituições públicas e privadas e modelos de gestão

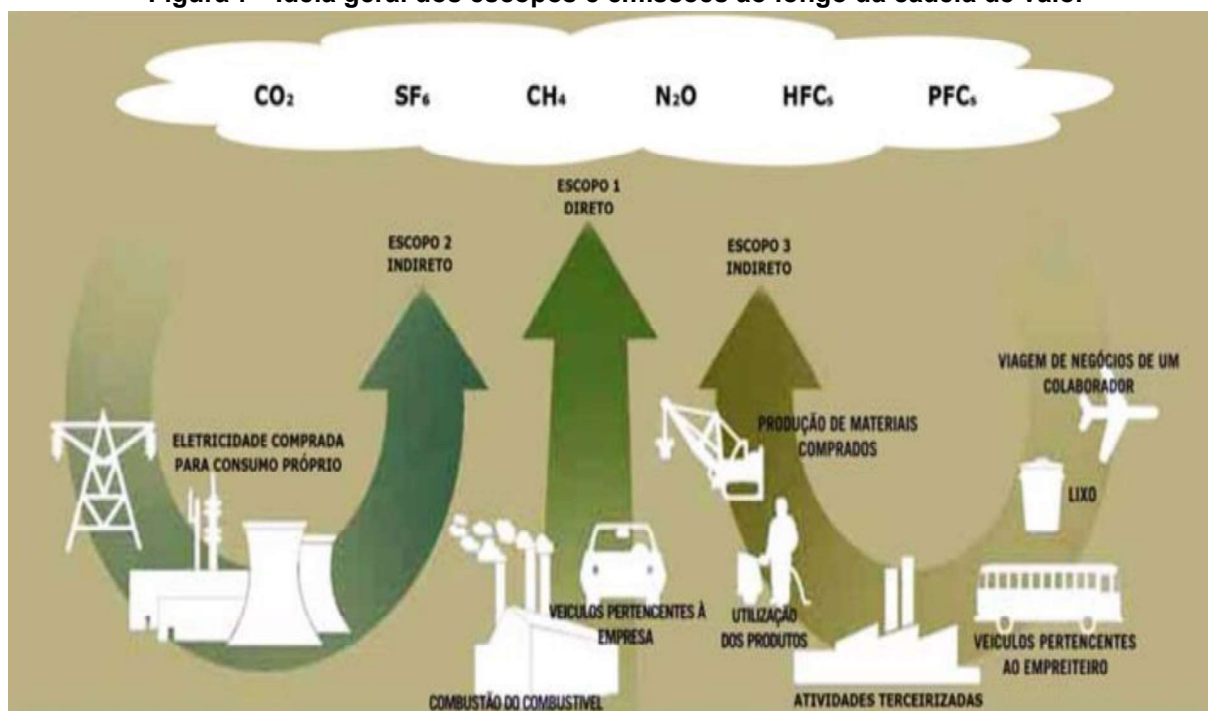
Outra metodologia que pode ser utilizada como referência na elaboração de inventários é a NBR ISO 14064-1, que tem por objetivo especificar princípios e requisitos no âmbito da organização para quantificação e para elaboração de relatórios de emissões e remoções de GEE. Essa norma também inclui determinações para o projeto, o desenvolvimento, o gerenciamento, a elaboração de relatórios e a verificação de um inventário de GEE da organização (NBR ISO, 2022).

Ademais, segundo a ABNT NBR ISO 14064-1, as emissões de GEE devem ser agregadas nas seguintes categorias em âmbito organizacional, sendo elas:

- 1) Emissões e remoções diretas de GEE;
- 2) Emissões indiretas de GEE de energia importada;
- 3) Emissões indiretas de GEE provenientes de transporte;
- 4) Emissões indiretas de GEE de produtos utilizados pela organização;
- 5) Emissões indiretas de GEE associados ao uso de produtos da organização;
- 6) Emissões indiretas de GEE de outras fontes.

Diante do exposto, as emissões diretas são aquelas provenientes de fontes que pertencem ou são controladas pela empresa. Já as emissões indiretas são decorrentes das atividades da empresa, porém causadas por fontes que pertencem ou são controladas por outra empresa. Portanto, determinar se as emissões são diretas ou indiretas depende da abordagem escolhida para o estabelecimento dos limites organizacionais, com isso foram definidos três escopos para registro e relatório de GEE (Barretto et al., 2023), conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 - Ideia geral dos escopos e emissões ao longo da cadeia de valor



Fonte: Adaptado de (Barretto et al., 2023).

De acordo com o estudo desenvolvido pela Comissão Europeia, existem mais de 80 (oitenta) métodos e iniciativas das emissões de GEE no âmbito de organizações em nível global, sendo muitas delas específicas adaptações de outros métodos. Dentre estes, um total de 30 (trinta) métodos e iniciativas foram selecionados como sendo os mais comuns utilizados no mundo. Após revisados, com base em vários recursos-chave para entender suas semelhanças e diferenças, foi elaborada uma lista restrita a nove principais métodos e iniciativas (Cruz, 2020).

A tabela 2 apresenta os principais métodos e iniciativas para elaboração de inventário.

Tabela 2 – Principais métodos e iniciativas utilizadas na elaboração de inventário de GEE

Metodologia	Abrangência	Escopos	Aplicação
Carbon Disclosure Project (CDP)	Internacional	1,2 e 3	Organizacional (setor público e privado)
WBCSD/WRI GHG Protocol Corporate Standard	Internacional	1,2 e 3	Organizacional (grandes empresas)
ISO 14064 2006	Internacional	1,2 e 3	Organizacional (grandes empresas)

WBCSD/WRI GHG Protocol Scope 3 Reporting Standard		Internacional		3		Organizacional (setor privado)
French Carbone	Bilan	Nacional (França)		1,2 e 3		Organizacional (grandes empresas)
UK Reduction Commitment (CRC)	Carbon	Europa – (Inglaterra)	UK	1 e 2		Organizacional (setor público e privado)
UK Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA)		Europa – (Inglaterra)	UK	1,2 e 3		Organizacional (setor público e privado)
US EPA Climate Leaders Inventory Guidance		América do Norte – EUA		1,2 e 3		Organizacional (setor privado)
US GHG Protocol Public Sector Standard		América do Norte – EUA		1,2 e 3		Organizacional (setor público)

Fonte: Adaptado de Cruz, (2020).

Importa destacar que no mencionado estudo da Comissão Europeia entre métodos e iniciativas existem diferenças. Método é definido como meio de calcular um valor de emissões de GEE em tCO₂ e deve fornecer orientações sobre limites de relatório e fatores de emissão. A iniciativa define o formato e o conteúdo do relatório de GEE, podendo abranger aspectos como divulgação pública, definição de metas, medidas de redução de emissões, requisitos de garantia/verificação, benchmarking e tabelas de classificação e remeter a um "método" específico (Cruz, 2020).

Nesse sentido, um inventário de emissões deve ser estabelecido como um processo contínuo, que permita identificar o ponto de partida e a evolução dos esforços de redução de emissões de uma instituição ou de determinado território e aprimorar essas medidas progressivamente. Para colocar em prática um inventário de emissões, é importante adotar metodologias ou protocolos reconhecidos, como é o caso do GHG Protocol, utilizável para inventários de instituições ou empresas (inventários corporativos). Para elaboração do inventário deve seguir os cinco princípios que fazem parte do padrão GHG Protocol Corporate Standard e da norma ISO 14064-1, sendo eles: relevância, integralidade, consistência, transparência e exatidão, bem como, estar alinhado ao um sistema de gestão de qualidade é essencial para assegurar que um inventário seja compatível com os princípios do Programa

Brasileiro e atenda eventuais demandas dos grupos de interesses (Barretto et al., 2023), conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8 - Gestão da qualidade do inventário



Fonte: Adaptado de (Barretto et al., 2023).

3.2.5 Importância do Inventário de emissões de GEE

Diante de um contexto de alteração e ampliação do espaço universitário brasileiro, ganha importância o planejamento e gestão como forma de reduzir os impactos ambientais e a elaboração de inventário de GEE que abranja os escopos 1, 2 e 3 deve ser considerada uma prioridade. O princípio da relevância consiste em garantir que o inventário reflita adequadamente as emissões de GEE da empresa ou organização e atenda às necessidades de tomada de decisão dos usuários - internos e externos à empresa (Cruz et al., 2020).

Nesse contexto, a maioria das universidades e faculdades possui ativos de capital significativos cuja pegada de carbono incorporada pode ser grande, embora difícil de estimar. Para apoiar as operações no campus, as instituições de ensino superior adquirem extensos estoques de bens e serviços, e essas práticas de aquisição podem ser intensivas em carbono e geram volumes substanciais de resíduos, principalmente orgânicos, cuja coleta e tratamento requerem energia com emissões de GEE associadas (Filimonau et al., 2021).

Nesse sentido, para que possam promover ações de redução das emissões de GEE, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas, as instituições precisam saber primeiro o quanto emitem e qual a origem dessas emissões. Uma vez que iniciam a prática de inventários, passam a estudar possibilidades de mitigação em suas operações. São vários os benefícios que as organizações podem obter a partir dessa iniciativa (Barretto et al., 2023). Conforme segue:

- Oportunidades de redução de custos
- Criação de benchmark e oportunidades para melhorar a competitividade
- Participar de mercados de emissões de GEE
- Prestar contas aos acionistas e stakeholders
- Replicabilidade e impacto em cadeia
- Traçar e alcançar metas de responsabilidade socioambiental
- Avaliar passivos e preparar-se para futuras políticas de emissões de GEE
- Garantir oportunidades no mercado internacional

3.3 GESTÃO DAS EMISSÕES EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR - IES

As Instituições de Ensino Superior (IES), como organizações comprometidas com o ensino, pesquisa e serviços comunitários, desempenham um papel crucial e significativo em ajudar a sociedade a enfrentar os desafios climáticos e ambientais, bem como na formação de pessoas responsáveis e comprometidas com a manutenção do desenvolvimento sustentável, devendo elas serem um exemplo para seus alunos e funcionários, assim como para a sociedade como um todo (Valls-Val et al., 2021).

Como resposta à necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, as IES estão a envidar cada vez mais esforços para contabilizar a sua pegada de carbono. Devido às preocupações com as alterações climáticas, a avaliação das emissões e o cálculo da pegada de carbono têm continuamente ganho atenção, especialmente como ponto de partida para a redução do impacto e, eventualmente, alcançar a neutralidade de carbono (Kiehle et al., 2023).

Por estas razões, as universidades, como exemplo de organizações sustentáveis, devem assumir um papel preponderante na luta contra as alterações climáticas e, conseqüentemente, no cálculo, monitoramento, redução ou mesmo compensação da sua pegada de carbono. No entanto, como etapa preliminar para o

cálculo da pegada de carbono das IES, é necessário entender suas atividades que contribuem para as mudanças climáticas por meio da elaboração de um inventário de emissões de gases de efeito estufa (Valls-Val et al., 2021).

As IES são tipicamente constituídas por um conjunto de edifícios destinados a salas de aula, laboratórios, gabinetes, refeitórios, residências etc., e alguns deles dispõem de centrais elétricas, circuitos de transportes, redes de água ou serviços de saúde próprios, dependendo sobretudo do número de alunos que acolhem e qualquer uma dessas atividades tem fontes de emissão que contribuem para os GEE, que precisam ser identificadas e quantificadas. Essa tarefa pode se tornar complicada dependendo do tipo e tamanho da instituição (Valls-Val et al., 2021).

Dessa forma a tabela 3 mostra os resultados das emissões de GEE em IES.

Tabela 3 - Resultados das emissões de GEE pelas IES

	IES	Ano base	Populaçã o	Emissões (tCO₂)	Emissões per capita (tCO₂e/p)
1	Universidade Federal de Uberlândia	2014	Não informado	2.369	-----
2	Unicamp	2015	1.572	2.066	1,31
3	PUC	2011	19.699	5.781	0,29
4	Universidade Federal de Viçosa	2010/2011	Não informado	6.034,18	-----
5	Universidade Unoesc	2009	Não informado	10,46	-----
6	Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Mourão	2012	1.940	954,82	0,49
7	Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Curitiba	2011	10.797	1.378	0,13
8	Universidade Federal do Tocantins	2009	Não informado	218,31	-----
9	Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)	2015	Não informado	2.706	-----

Fonte: Adaptado de Cruz, (2020).

3.4 ESTUDOS DE CASOS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR - IES

3.4.1 Uma revisão de literatura sobre Pegada de carbono em Instituições de Ensino Superior

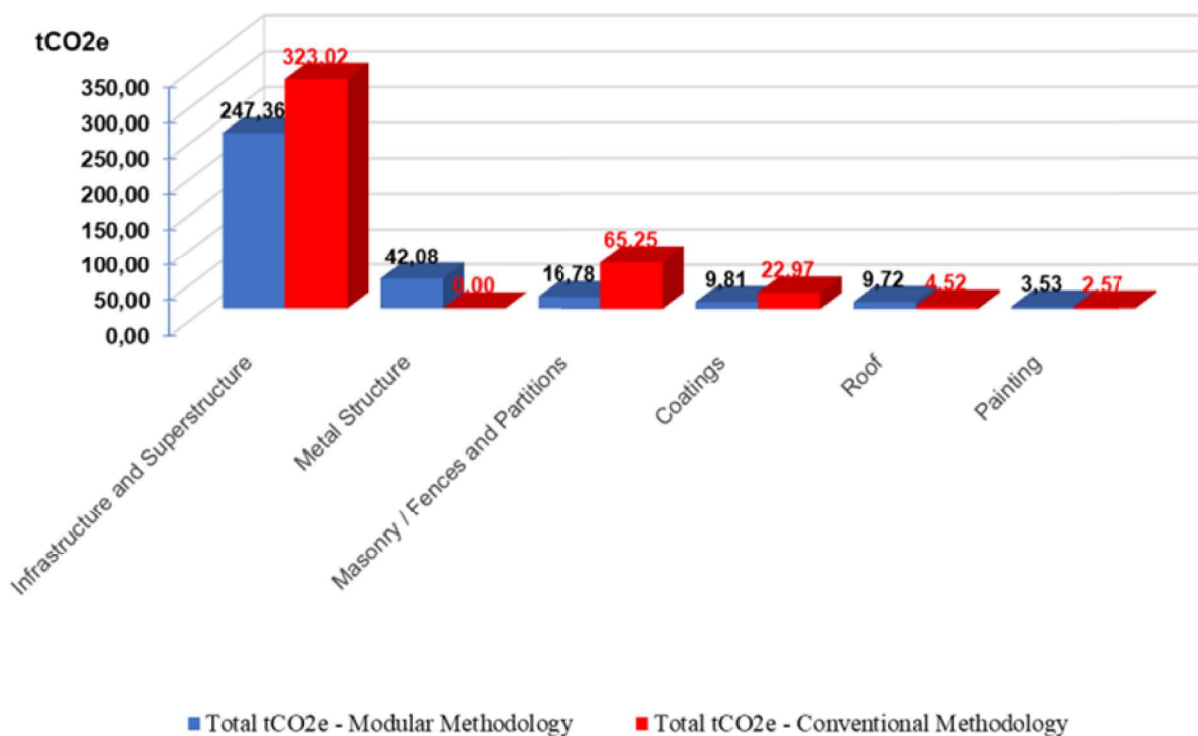
Estudos realizados em Instituições de Ensino Superior (IES) mostraram que os resultados sobre pegada de carbono aumentaram a consciência ambiental na população estudantil, com esse objetivo, o número de IES que calculam suas emissões de GEE vem aumentando gradativamente e esse setor tem conseguido reduzir seu impacto ambiental e aumentar sua eficiência. Assim, este estudo ilustra a importância de desenvolver inventários de GEE abrangentes e consistentes para IES, listando as fontes de emissão de GEE e os fatores de emissão considerados para que as IES não sejam comparadas injustamente. Esta pesquisa realizou uma revisão de literatura global focada em análises de pegada de carbono no setor de IES (Valls et al., 2021).

3.4.2 Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Um estudo realizado no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, teve como objetivo principal estimar as emissões de gases de efeito estufa para a construção de um prédio administrativo utilizando o método construtivo modular. Assim, a metodologia utilizada para estimar as emissões foi estruturada no programa do protocolo brasileiro de gases de efeito estufa, método mais utilizado mundialmente por empresas e governos para a realização de inventários de gases de efeito estufa (Ribeiro et al., 2021).

Segundo os autores, nas emissões originadas pela execução da cobertura, em construção modular, observou-se a predominância da utilização do material (aço), tanto na estrutura metálica utilizada para a estruturação da cobertura, como componente da telha metálica isotérmica, quando comparado ao convencional, que utiliza estrutura em madeira e telha em fibrocimento, e que resultou em menor quantidade de emissões, conforme ilustrado na Figura 9.

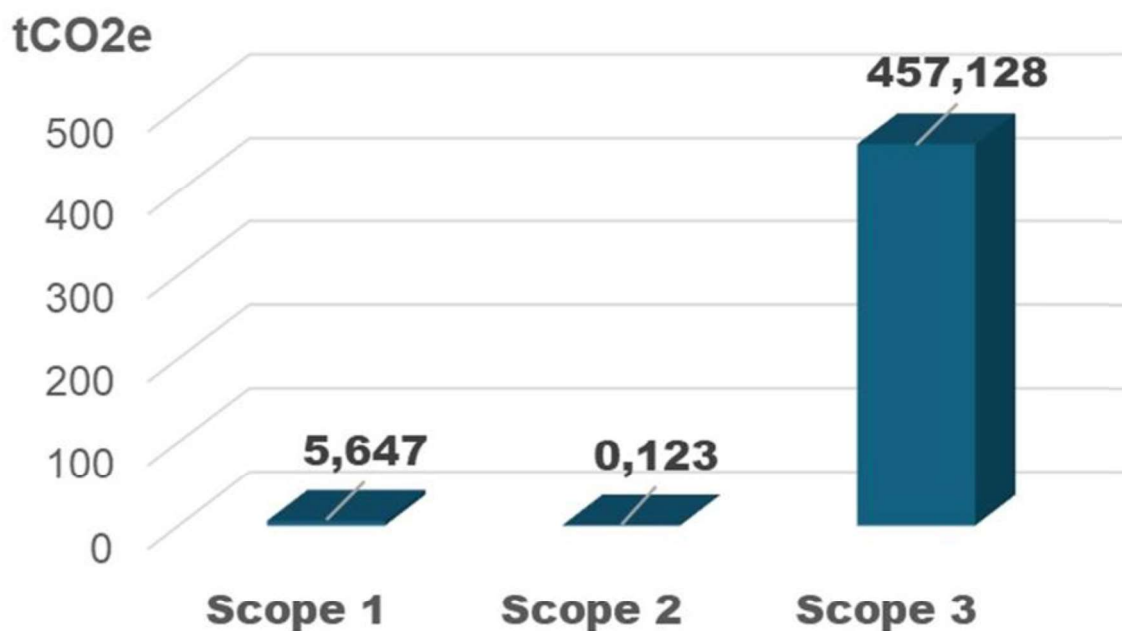
Figura 9 - Comparativo de emissões por métodos de acordo com suas atividades.



Fonte: Adaptado de (Ribeiro et al., 2021).

Nesse sentido, o inventário consolidado, para a construção em estudo, apresentou uma emissão total de 462,90 tCO₂e, sendo 5.647 tCO₂e para escopo 1; 0,123 tCO₂e para escopo 2 e 457.128 tCO₂e para o escopo 3, conforme pode ser observado através da Figura 10. Os resultados obtidos mostram que 98,75% das emissões totais correspondem ao escopo 3. Portanto, esse escopo concentra os maiores grupos de fontes de emissão, que resultam do processo de fabricação, em todas as suas fases, de materiais de construção e produtos derivados, principalmente utilizando aço e cimento (Ribeiro et al., 2021).

Figura 10 - Estimativa de emissões em tCO₂e por escopo.



Fonte: Adaptado de (Ribeiro et al., 2021).

Comparativamente, este método construtivo apresentou 22,12% menos emissões quando comparado ao método convencional. Este resultado permite, como ação de mitigação, a possibilidade de propor a implantação de novas tecnologias e métodos construtivos que propiciem a redução das emissões de gases de efeito estufa (Ribeiro et al., 2021).

3.4.3 Campus Universitário Público na Cidade do México

A Universidade Autônoma Metropolitana (UAM) é uma Universidade pública que foi fundada em 1971 e possui cinco campi localizados a leste, sul, norte e oeste da Cidade do México. Em 2016, sua população média global (alunos, professores e funcionários) era de cerca de 2.750 pessoas. As políticas do campus incluem a sustentabilidade como um de seus principais objetivos. O objetivo do trabalho foi realizar o inventário de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e calcular a pegada de carbono de um dos campi, com base no ano, utilizando o protocolo GHG Protocol. De acordo com o resultado da pesquisa, em 2016, o campus produziu cerca de 3.000 toneladas de CO₂ equivalente, com os Escopos 1, 2 e 3, respondendo por 4%, 24% e 72%, respectivamente (Mendoza et al., 2019).

Segundo os autores desta pesquisa, a análise das emissões por atividade indicou 51% para deslocamento; 24% para uso de eletricidade; 14% para viagens acadêmicas; 11% para outras atividades. Como o escopo 3 teve a maior contribuição para as emissões da UAM, as atividades consideradas neste escopo devem ser cuidadosamente registradas no próximo inventário do campus, e o plano de mitigação deve incidir principalmente sobre elas.

Ademais, a pesquisa fez uma comparação das emissões por escopo e per capita da UAM com os valores de outras universidades, conforme mostra a tabela 4. No entanto, segundo os autores existem poucas pesquisas que documentam as emissões decorrentes de todas as atividades (diretas e indiretas) atribuíveis as universidades (Mendoza et al., 2019).

Tabela 4 - Estimativas de emissões comparativas de GEE de outras universidades

Universidade/Instituição	País	Ano base	Emissões (tCO₂eq)	Emissões per capita (tCO₂eq)
Universidade de Santiago de Compostela	Espanha	2007	32.407,8	1,01
Universidade De Montfort	Reino Unido	2008/09	51.080	1,99
Universidade de Valência	Espanha	2010	58.517,8	0,88
Universidade Nacional Autônoma do México	México	2010	1.577	1,47
Universidade de Madrid.	Espanha	2010	2.147	1,87
Universidade Católica do Rio de Janeiro.	Brasil	2011	5.782	0,29
Universidade de Talca. Campus Curicó	Chile	2012	1.568,6	1,00
Universidade de Alberta	Canadá	2012/13	325.351	6,51
Universidade Politécnica de Cartagena	Espanha	2013	9.088,4	1,07
Universidade de Valladolid	Espanha	2014	22.080,5	1,11
Universidade Edith Cowan	Austrália	2015	24.797,6	1,73
Universidade de Cambridge	Reino Unido	2016	102,049,9	3,50
Universidade da Califórnia. Berkeley	EUA	2016	151.650	2,90
University of Málaga	Espanha	2017	24.831,6	0,66
University of Málaga	México	2016	2.956,3	1,07

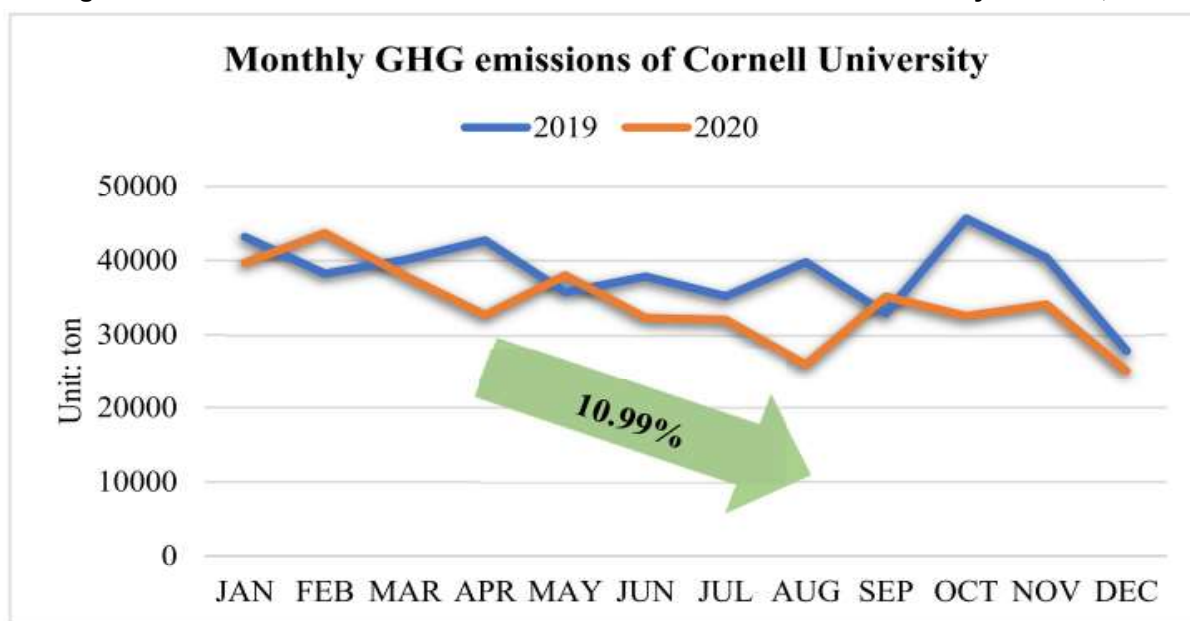
Fonte: Adaptado de (Mendoza et al., 2019).

3.4.4 Cornell University

Um estudo de caso da Cornell University sobre o Impacto do COVID-19 no inventário de emissões de GEE. Nesse contexto, o estudo constrói um inventário completo de emissões de GEE do campus da Cornell University, quantificando as emissões de GEE de escopo 1, 2 e 3 da universidade e identificando as principais fontes de emissão usando um modelo EIO-LCA para investigar as emissões de GEE conectadas ao sistema de compras do campus. O impacto do COVID-19 é explorado a partir das perspectivas dos sistemas de energia do campus, transporte e consumo de produtos e serviços, que ajudaram a determinar as forças motrizes da flutuação das emissões de GEE durante a pandemia (Sun et al., 2022).

Diante do exposto, a pandemia do COVID-19 afetou significativamente as emissões de GEE na Cornell University, levando a um declínio de 10,99% do total anual de emissões de GEE de 2019 a 2020, conforme demonstrado na Figura 11. As emissões de GEE de Escopo 1 reduziram 8,9% em 2020 em comparação com 2019, especialmente durante o início da pandemia em abril e maio. Ao contrário das emissões de GEE dos escopos 1 e 3, as emissões de GEE do escopo 2 aumentaram 39,52% em 2020 em relação a 2019. As emissões de GEE do escopo 3 reduziram 16,06% em 2020 em relação a 2019 (Sun et al., 2022).

Figura 11 - Estimativa de emissões mensais de GEE da Cornell University em 2019, 2020.



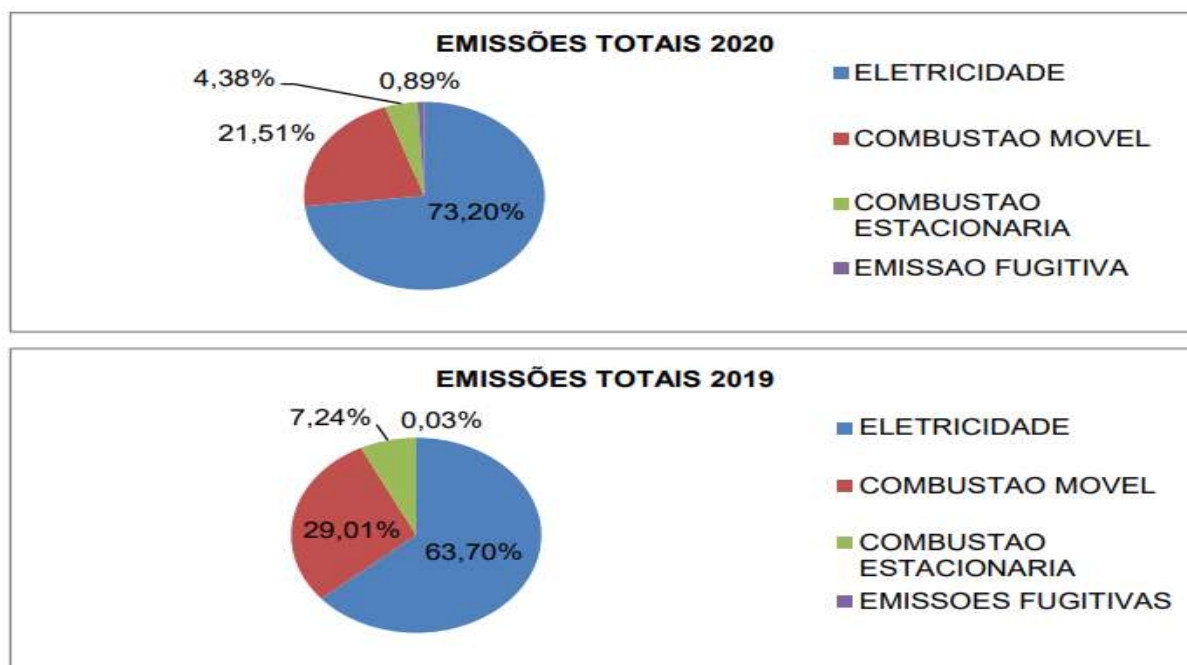
Fonte: Adaptado de (Sun et al., 2022).

Nesse sentido, esses resultados indicam que a universidade deve incorporar mais esforços para reduzir as emissões de GEE do Escopo 3, uma vez que as emissões indiretas de bens e serviços adquiridos representam a maior parte da pegada de carbono do campus. É necessário analisar os principais gastos com commodities em toda a faculdade e usar as especificações de compra verde para identificar produtos reais de fornecedores que já estão em uso pela faculdade (Sun *et al.*, 2022).

3.4.5 Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Mourão

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná teve como objetivo principal a elaboração dos Inventários de emissões de GEE referentes aos anos de 2019 e 2020 e como resultado do estudo em ambos os anos inventariados, 2019 e 2020, as emissões provindas da eletricidade representaram o maior número de emissões de GEE com 63,70% e 73,20% respectivamente, seguido da combustão móvel com 29,01% e 21,51%, conforme pode ser observado na Figura 12 (Diógenes, 2021).

Figura 12 - Número total de emissões por categoria



Fonte: Adaptado de Diógenes, (2021).

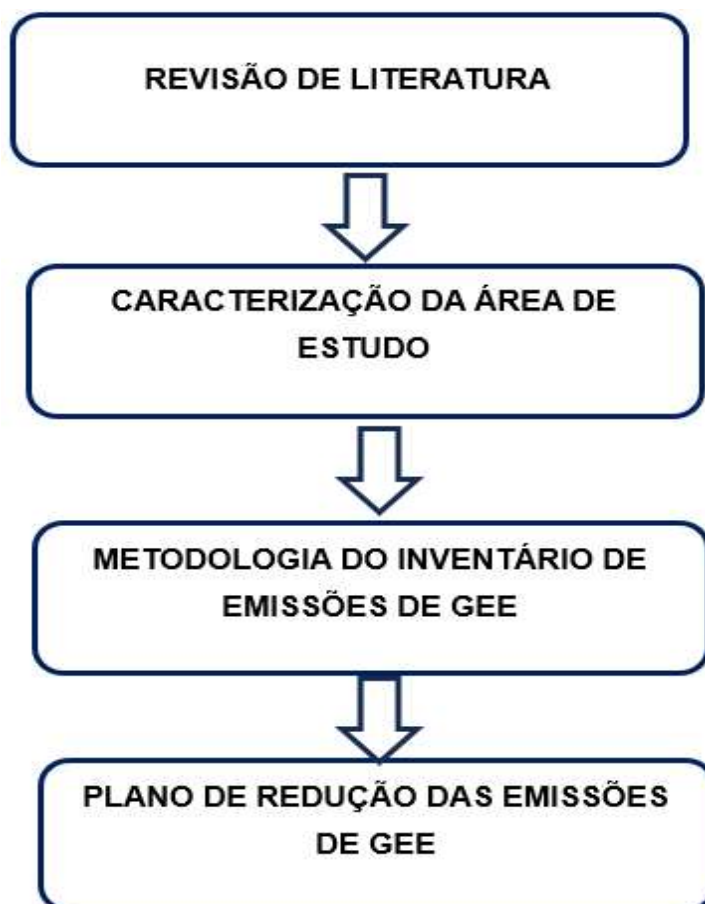
Diante do exposto, a elaboração de inventários de emissões de GEE a partir da metodologia GHG Protocol representam uma excelente oportunidade para quantificar e identificar as emissões de uma instituição. Vale ressaltar, que a pandemia

do Covid-19 trouxe diversas alterações nas atividades da UTFPR Campus Mourão, como a paralisação das atividades letivas presenciais e as restrições nas atividades presenciais da UTFPR durante o ano de 2020 ocasionaram uma redução de 67% nas emissões totais de CO₂ equivalente em relação ao ano anterior (Diógenes, 2021).

4. METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos na pesquisa, a metodologia adotada foi composta em quatro etapas distintas, conforme ilustrado na Figura 13. Inicialmente, foi realizado uma revisão de literatura para obter um embasamento teórico sobre o tema. Em seguida, a caracterização da área de estudo. A terceira etapa abordou a metodologia para a produção do inventário de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Por fim, a última etapa compreendeu um plano de redução das emissões de GEE, incluindo propostas de mitigação, compensação e/ou neutralização das emissões.

Figura 13 - Fluxograma da metodologia



Fonte: O autor, (2024).

4.1 REVISÃO DE LITERATURA

Nesta etapa, foi realizado um levantamento da produção acadêmica de outros estudos relacionados ao objeto em estudo, a fim de identificar as informações mais atualizadas na área de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), bem como as abordagens para elaboração do inventário, legislação nacional e internacional sobre mudanças climáticas e estratégias de mitigação e neutralização de GEE. Essas fontes serviram como base para a elaboração do presente estudo.

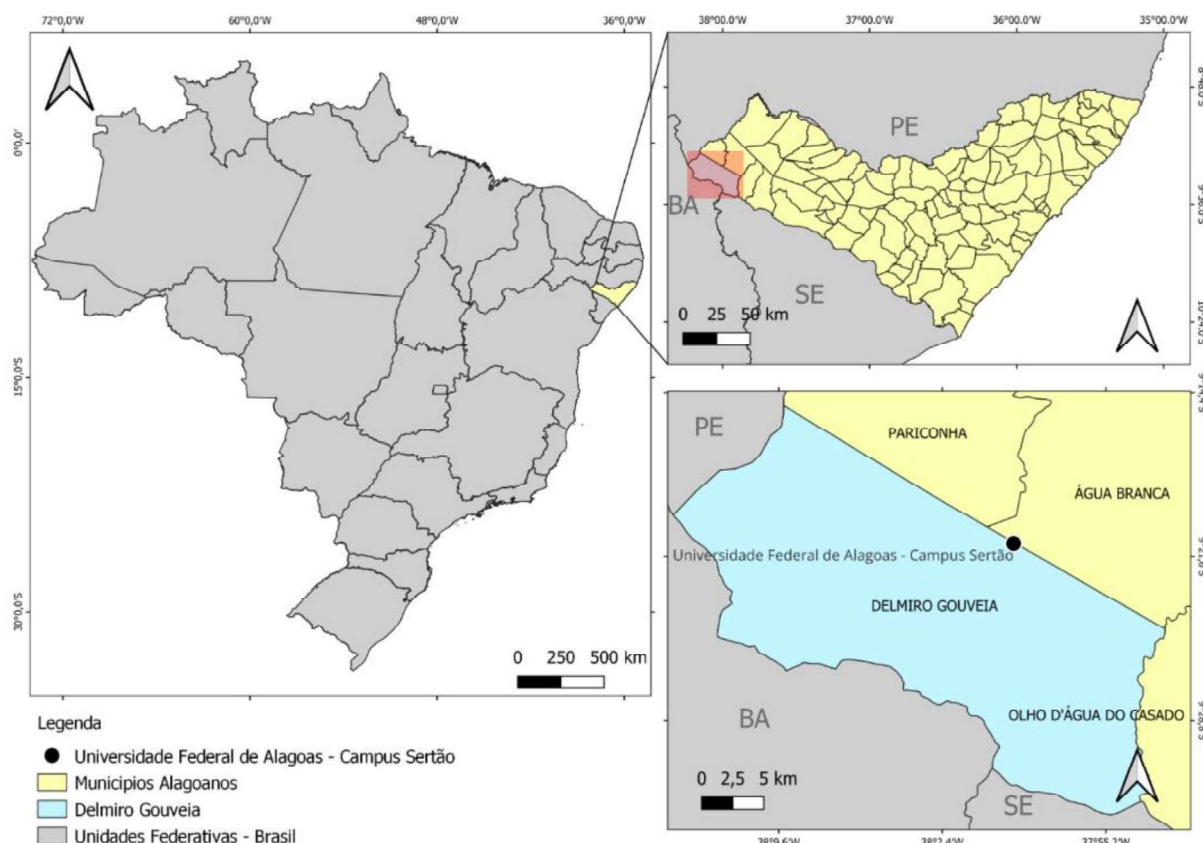
As fontes consultadas incluem artigos científicos publicados em revistas internacionais, protocolos, dissertações e teses divulgadas por instituições de ensino superior (IES), normas nacionais e tratados internacionais relacionados ao tema, bem como inventários realizados por outras IES. Complementando essas fontes, o autor realizou uma análise bibliométrica sobre o tema para a elaboração de um artigo, que foi submetido e está apresentado no Apêndice A.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada na Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Campus Sertão, em Delmiro Gouveia, localizado na rodovia AL 145, Km 3, nº 3849, conforme ilustrado na Figura 14, inaugurado no dia 15 de março de 2010, o Campus do Sertão já conta com aproximadamente 1.899 alunos e oferece seis cursos de graduação: Engenharia Civil, Engenharia da Produção, Letras, Pedagogia, História e Geografia. Além disso, o Campus conta com 106 servidores, dentre eles 72 professores, e 34 técnicos- administrativos, além dos profissionais contratados que prestam serviço à Universidade (UFAL, 2023).

De acordo com a instituição, a presença da UFAL no Sertão alagoano trouxe melhores perspectivas para formação acadêmica da região, principalmente para os jovens que concluem o ensino médio e que não tem condições de estudar em outros locais. A Universidade também fomenta o desenvolvimento socioeconômico local, pois atua, além do ensino, na pesquisa e na extensão.

Figura 14 - Localização do Campus da UFAL em Delmiro Gouveia/AL



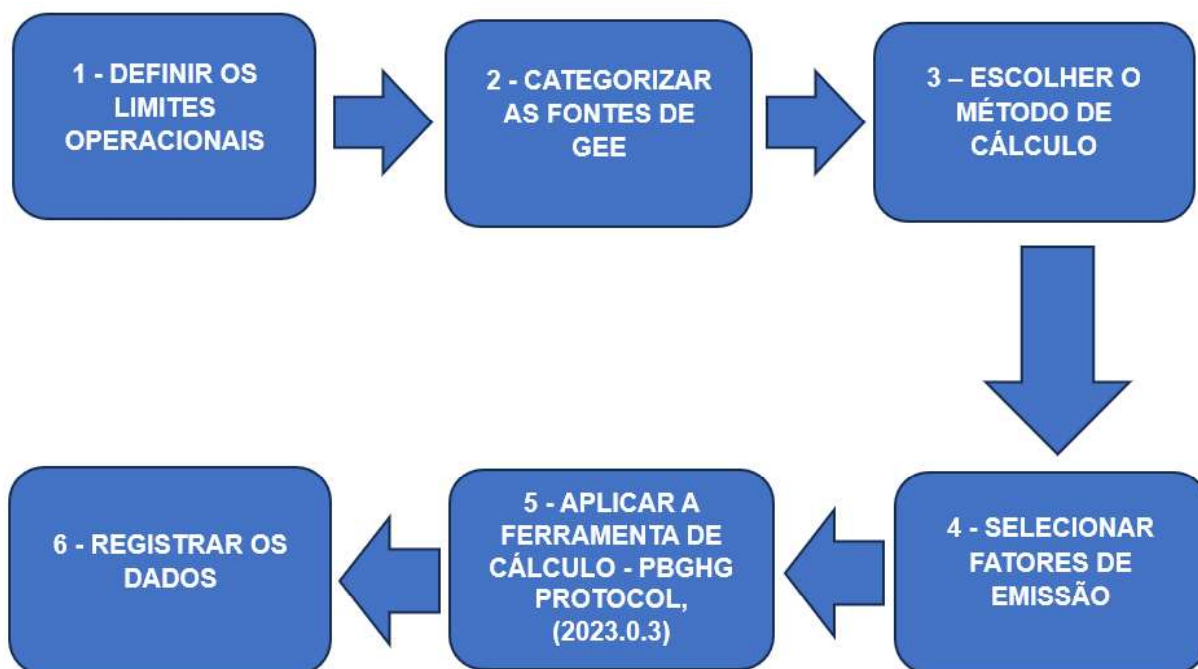
Fonte: O Autor, (2024).

4.3 METODOLOGIA DO INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GEE

O inventário de emissão de GEE e a proposta do plano de redução das emissões dos gases foram realizados considerando-se a área de abrangência da Universidade Federal de Alagoas – UFAL (Campus Sertão em Delmiro Gouveia) e teve como base o Programa Brasileiro GHG Protocol (FGV, 2023.0.3).

As principais etapas apresentadas pela metodologia GHG Protocol Brasil são: i) Definição dos limites operacionais; ii) Categorização das fontes de emissão de GEE dentro das instalações; iii) Escolha do método de cálculo; iv) Coleta de dados; v) Escolher os fatores de emissão e vi) Aplicar a ferramenta de cálculo e registrar os dados (FGV, 2023), conforme pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 - Fluxograma da metodologia de execução do inventário de emissões de GEE.



Fonte: Adaptado de FGV, (2023).

A definição dos limites operacionais envolve a identificação das fontes associadas às atividades da instituição e a classificação em emissões diretas e indiretas. Assim, o GHG Protocol estabelece 3 escopos.

Os escopos foram divididos em três conforme metodologia apresentada pelo GHG protocol, com as seguintes definições:

- Escopo 1: emissões diretas relacionadas ao processo produtivo de uma organização e cujas fontes podem ser controladas por essa.
- Escopo 2: emissões indiretas de GEE associados à compra e consumo de energia elétrica.
- Escopo 3: fontes indiretas as quais estão relacionadas à operação da instituição, porém essa não possui controle. A contabilização desse escopo é opcional (FGV, 2023).

No Quadro 1 são discriminadas as fontes identificadas conforme o escopo. A escolha das categorias analisadas foi devido a obtenção das informações mínimas para estimativa das emissões para os anos 2018, 2020 e 2022.

Quadro 1 - Fontes de emissões de GEE identificadas

Escopo	Categoria	Descrição
1	1 - Combustão Estacionária	Refere-se ao consumo de combustível utilizado em razão do uso de GLP no Restaurante Universitário (RU)
	2 - Combustão Móvel	Refere-se ao consumo de combustível utilizado pelos veículos oficiais do Campus. Esta categoria englobou viagens a negócios terrestres
	3 - Emissões Fugitivas	Refere-se à quantidade de gás aplicado na manutenção dos aparelhos de ar-condicionado e extintores de incêndio CO ₂
	4 - Tratamento de Efluentes Líquidos	Inclui a emissão decorrente do tratamento do esgoto por fossa séptica.
2	5 - Consumo de Energia Elétrica	Inclui as atividades administrativas e acadêmicas do Campus
3	6 - Viagens a Negócio	Consideram-se as viagens aéreas e terrestres a negócio realizadas por servidores do Campus

Fonte: O Autor, (2024).

É importante destacar que as estimativas de emissões por tratamento de efluentes líquidos (escopo 1, item 4) para os anos de 2018 e 2020 não foram possíveis devido à falta de controle para essa categoria. As estimativas só puderam ser realizadas em 2022, quando os alunos da disciplina de ACE 5, juntamente com o professor Dr. Antônio Netto, conduziram um estudo para dimensionar uma Fossa Verde para a UFAL Campus do Sertão.

Para elaboração deste inventário foram contabilizadas as emissões de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), R-410A e R-422D provenientes das atividades da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) Campus Sertão, durante os anos de 2018, 2020 e 2022. O poder de aquecimento global para cada um é de 1, 28, 1.924 e 2.470, respectivamente (FGV, 2023). A contabilização das emissões foi realizada para cada tipo de GEE e convertidos para toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂e) de acordo com o poder de aquecimento global de cada um deles.

4.3.1 Coleta dos Dados

O processo de coleta de dados foi realizado nos diferentes setores da UFAL Campus Sertão de acordo com as categorias identificadas no Quadro 2 para os anos

de 2018, 2020 e 2022. A divisão em categorias se fez necessário para que se pudesse identificar a parcela de contribuição de cada escopo nas emissões. No Quadro 2 são apresentados com detalhes os dados coletados, o meio de obtenção e a fonte.

Quadro 2 – Processo de coleta de dados na UFAL Campus Sertão

Escopo	Categoria	Dado obtido	Fonte
1	Combustão Estacionária	Relação de consumo de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) no Restaurante Universitário (RU)	Gerência do RU Campus Sertão (Delmiro Gouveia). Esses dados foram obtidos através de e-mail e visitas in loco
	Combustão Móvel	Relatório com o consumo dos combustíveis dos veículos oficiais do Campus	Gerência de Transporte da Superintendência de Infraestrutura (SINFRA). Dados obtidos através de e-mail
	Emissões Fugitivas	Relação com a quantidade de ar-condicionado e extintores de incêndio. Além do contato das empresas de manutenção desses equipamentos	Gerência de Manutenção do Campus Sertão (Delmiro Gouveia). Os dados foram obtidos através de e-mail e visitas in loco
	Tratamento de Efluentes Líquidos	Relatório de consumo de água e geração de esgoto por pessoa no âmbito da UFAL no ano de 2022, elaborado pelos discentes da disciplina ACE 5 em juntamente com o professor Dr. Antônio Netto	Fornecido via e-mail através de contato com o professor Dr. Antônio Pedro de Oliveira Netto.
2	Consumo de Energia Elétrica	Relatório do consumo anual de energia elétrica	Fiscal Técnico e Administrativo que realiza a fiscalização da eficiência energética da UFAL, dados obtidos via e-mail
3	Viagens a Negócios	Relatório do Sistema de Controle de Passagens – SCDP com a relação da quantidade de viagens aéreas e terrestres	Secretária Executiva do Campus. Dados obtidos através de e-mail e visita in loco

Fonte: O Autor, (2024).

4.3.2 Cálculo das Emissões

As emissões de GEE foram calculadas utilizando-se as diretrizes do IPCC (2006 e 2019) e a ferramenta de cálculo GHG Protocol 2023.0.3, desenvolvida no software Microsoft Excel pelo Programa Brasileiro GHG Protocol. Essa ferramenta permite a categorização e contabilização das emissões de diversas fontes, conforme pode ser observado na Figura 16.

Figura 16 - Menu da ferramenta GHG Protocol versão 2023.0.3



Fonte: FGV, (2023).

Com base na definição das categorias consideradas no inventário, nesta seção será detalhadamente explicada a metodologia utilizada, juntamente com as considerações feitas para estimativas.

A princípio para o cálculo geral das emissões a ferramenta de cálculo do Programa Brasileiro GHG Protocol é uma ferramenta bem detalhada e com fatores de emissões atualizados constantemente. Os inúmeros cálculos realizados se baseiam no “cálculo geral de emissões”, que é o produto dos Dados de Atividades, multiplicados pelo Fator de Emissão e pelo GWP, como pode ser observado na Equação 1 (Campus et al., 2023).

$$E = DA \times FE \times GWP$$

1

Onde:

E = Emissões de GEE (tCO₂e);

DA = Dados de Atividades;

FE = Fator de Emissão;

GWP = Potencial de Aquecimento Global.

4.3.2.1 Escopo 1 - Emissões Diretas de GEE

a) Combustão Estacionária

Nesta categoria estão incluídas as emissões de GEE provenientes do consumo de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) utilizado pelo restaurante universitário (RU).

O cálculo das emissões desse item foi realizado através da metodologia apresentada pela ferramenta GHG Protocol 2023.0.3 na qual as estimativas das emissões de GEE provenientes da combustão de fontes estacionárias foram baseadas no consumo anual de combustíveis e o fator de emissão do tipo de combustível utilizado para totalizar as emissões gerais (tCO₂e), como demonstrado na Equação 2:

Equação 2 – Emissões da Combustão Estacionária

$$ECE (tCO_2e) = C \times FE \times GWP \quad 2$$

Onde:

ECE (tCO₂e) = Emissões da Combustão Estacionária;

C = Combustível em m³ ou litros por ano;

FE = Fator de Emissão (CO₂, CH₄, N₂O), conforme tabela 5;

GWP = Potencial de Aquecimento Global.

Tabela 5 - Fatores de emissão por tipo de combustível

Combustível	Kg CO₂/L	Kg CH₄/L	Kg N₂O/L
GLP	2.931	0,23237	0,00465

Fonte: FGV, (2023).

Vale destacar que para esta categoria foram estimadas apenas as emissões dos anos 2020 e 2022. No ano de 2018 o Restaurante Universitário (RU) não estava em funcionamento e, por isso, não foi considerado nesta pesquisa.

b) Combustão Móvel

As emissões provenientes do uso de veículos oficiais para atividades administrativas e acadêmicas, como ensino, pesquisa e extensão, são classificadas como combustão móvel. Para esse fim, a ferramenta de estimativa de emissões de GEE, (GHG Protocol 2023.0.3) disponibiliza três opções para o cálculo, sendo: pelo tipo e ano de fabricação da frota, pelo consumo de combustível ou pela distância percorrida pelos veículos. Com isso, as estimativas das emissões de GEE provenientes dessa categoria foram baseadas no consumo anual de combustíveis por gerar uma estimativa precisa e da disponibilidade dos dados como demonstrado na Equação 3:

Equação 3 – Emissões da Combustão Móvel

$$ECM (tCO_2e) = C \times FE \times GWP \quad 3$$

Onde:

$ECM(tCO_2e)$ = Emissão da Combustão Móvel;

C = Combustível em m^3 ou litros

FE = Fator de emissão do GEE (CO_2 , CH_4 , N_2O), conforme tabela 6;

GWP = Potencial de Aquecimento Global.

Tabela 6 - Fatores de emissão por tipo de combustível

Combustível	Kg CO_2/L	Kg CH_4/L	Kg N_2O/L
Gasolina	2,21200	0,00080	0,00026
Diesel	2,60300	0,00010	0,00014
Etanol	1,45700	0,00040	0,00001

Fonte: FGV, (2023).

c) Emissões Fugitivas

Na UFAL Campus Sertão foram identificados como fontes de emissões fugitivas de GEE durante os anos inventariados apenas extintores de incêndio (CO_2) e aparelhos de ar-condicionado.

Para esta categoria os cálculos da estimativa das emissões foram realizados através da recarga anual dos gases liberados na atmosfera referente aos aparelhos de ar-condicionado e extintores de incêndio. A ferramenta de cálculo GHG Protocol 2023.0.3 apresenta três opções de cálculo, no qual a utilizada foi pelo método de triagem.

Segundo a empresa que realiza a prestação de serviços de manutenção dos aparelhos de ar-condicionado da UFAL Campus Sertão, cada aparelho de ar-condicionado passa por um processo de recarga de gás por ano. Assim, a capacidade de gás de cada aparelho é determinada pela empresa prestadora de serviço de manutenção, no qual sua capacidade altera conforme sua potência como demonstrado na Tabela 7.

Tabela 7 – Capacidade de gás de acordo com sua capacidade em BTUs.

Capacidade (BTUS)	Capacidade de gás (Kg)
60000	2,4
48000	1.8
30000	1.6
24000	1.5
18000	1.1
12000	0,8
9000	0,5

Fonte: O Autor, (2024).

Observou-se que os aparelhos de ar-condicionado da UFAL Campus Sertão se dividem em dois modelos: os que utiliza o gás R410A e o gás R422D. Nesse sentido, as emissões de gases foram estimadas com base na capacidade de gás das unidades em operação dos aparelhos de ar-condicionado, bem como obedecendo ao tipo de gás de cada aparelho. É importante destacar que a UFAL Campus Sertão não possui controle sobre todos os dados necessários para preencher todos os campos exigidos pelo Programa Brasileiro GHG Protocol 2023.0.3. Por exemplo, não dispõe da quantidade total de carga em unidades novas, nem da recuperação dos gases em unidades dispensadas. No entanto, foi possível realizar o cálculo utilizando apenas o total de recargas em unidades já existentes como demonstrado na Equação 4.

Equação 4 Emissões Fugitivas

$$EF(tCO_{2e}) = [(CG_N - CP_N) + RG_E + (CP_D - RP_D)] \times GWP$$

Onde:

$EF(tCO_{2e})$ = Emissões Fugitivas;

CG_N = Carga de gás em equipamentos novos em m^3 ;

CP_N = Capacidade de gás dos equipamentos novos em m^3 ;

RG_E = Recarga de gás em equipamentos existentes em m^3 ;

CP_D = Capacidade de gás dos equipamentos dispensados em m^3 ;

RP_D = Recuperado de gás em equipamentos dispensados em m^3 ;

GWP = Potencial de Aquecimento Global.

Com relação aos extintores de incêndio a UFAL Campus Sertão possui extintores de gás carbônico com capacidade apenas de 6Kg. Durante a recarga desses extintores, é descarregado todo o agente extintor (CO_2) presente nele e inserido um novo gás novamente no equipamento.

A estimativa da capacidade total das unidades em operação dos extintores de incêndio foi realizada através da Equação 5.

Equação 5 – Emissões Fugitivas

$$EF(tCO_{2e}) = QTD_{EXT6} \times 6 \times GWP \quad 5$$

Onde:

$EF(tCO_{2e})$ = Emissão Fugitiva

QTD_{EXT6} = Quantidade de aparelhos extintores CO_2 de 6kg

6 = Capacidade do extintor (6kg)

GWP = Potencial de Aquecimento Global.

Dessa forma, os resultados das equações 4 e 5 em conjunto com a ferramenta de cálculo GHG Protocol 2023.0.3 foi possível obter a estimativa das emissões fugitivas totais da UFAL Campus Sertão.

Vale destacar que para esta categoria não foram estimadas as emissões para o ano de 2020, pois não houve manutenções (preventivas e/ou corretivas) nos respectivos equipamentos supracitados anteriormente devido a Pandemia do Covid-19 no referido ano. Dessa forma, não foi considerado nesta pesquisa.

d) Tratamento de Efluentes Líquidos por fossa séptica

As fossas sépticas são reatores biológicos anaeróbicos nos quais ocorrem reações químicas com a participação de micro-organismos, que desempenham um papel ativo na redução da matéria orgânica. Nessas unidades, o esgoto é tratado na ausência de oxigênio livre (ambiente anaeróbico), resultando na formação de uma biomassa anaeróbica (lodo anaeróbico) e na produção de biogás, composto principalmente por metano e dióxido de carbono (Ávila, 2005).

Nesta categoria, estão incluídas as emissões de GEE provenientes do tratamento de efluentes líquidos, cujas emissões podem ocorrer por tratamento de esgoto (CH_4 e N_2O) (FGV, 2023).

Dessa forma, os efluentes gerados pela UFAL Campus Sertão são encaminhados para uma fossa séptica no próprio Campus para tratamento. Devido ao fato da tecnologia utilizada pela UFAL Campus Sertão, com potencial de produzir GEE, ser basicamente anaeróbia, optou-se por não realizar uma estimativa para o óxido nitroso. Dessa forma, a estimativa das emissões de GEE provenientes dessa categoria foi calculada apenas para o gás metano (CH_4) considerando as diretrizes do IPCC (2006 e 2019). Para tanto foi multiplicando a quantidade total de efluentes líquidos gerados pela UFAL Campus Sertão, vezes a composição orgânica degradada do efluente, vezes o fator de conversão de metano e vezes o fator de emissão, utilizando para esse fim a ferramenta disponibilizada pelo PBGHGP, como demonstrado na Equação 6.

Equação 6 – Emissões do Tratamento de Efluentes Líquidos por fossa séptica

$$EEL (t\text{CO}_2e) = \left[\sum_j (C\text{MPM} \times M\text{CF}_j) \times (M\text{O}_T - M\text{ORL}) - R \right] \times G\text{WP}$$

6

Onde:

$EEL (t\text{CO}_2e)$ = Emissões do Efluentes Líquidos;

$C\text{MPM}$ = Capacidade máxima de produção de metano;

$M\text{CF}_j$ = É o Fator de Conversão de Metano;

$M\text{O}_T$ = Matéria orgânica total;

$M\text{ORL}$ = Matéria orgânica removida como lodo;

R = Recuperação do Metano;

GWP = Potencial de Aquecimento Global.

4.3.2.2 Escopo 2 - Emissões Indiretas de GEE

a) Consumo de Energia Elétrica

Neste escopo, consideram-se as emissões indiretas de GEE resultantes do consumo de energia elétrica pela UFAL Campus Sertão. O relatório de consumo anual de energia elétrica foi obtido por meio do fiscal técnico e administrativo que realiza a fiscalização da eficiência energética da instituição.

O GHG Protocol 2023.0.3 utiliza três categorias para estas emissões: a primeira é a aquisição de energia elétrica, a segunda é a aquisição de energia térmica e a terceira é a perda por transmissão e distribuição (FGV, 2023).

Desde o ciclo 2018 (referente aos inventários de 2017), a contabilização do escopo 2, que engloba a aquisição de energia elétrica e as perdas por transmissão e distribuição, é subdividida em dois métodos de cálculo. O primeiro método, obrigatório para todas as organizações, é baseado na localização e representa o modelo tradicional. Ele quantifica as emissões de GEE provenientes da aquisição de energia elétrica usando um fator de emissão médio para a geração de eletricidade em um sistema elétrico específico (como por exemplo: o Sistema Interligado Nacional - SIN), considerando sua localização geográfica e um determinado período. O segundo método, opcional e adicional, é baseado na escolha de compra. Ele contabiliza as emissões utilizando fatores de emissão específicos para cada fonte de geração de eletricidade escolhida pela organização inventariante para adquirir e consumir. Neste método, o fator de emissão está diretamente ligado à origem da geração de eletricidade, requerendo comprovação e rastreamento adequados (FGV, 2023).

Na UFAL Campus Sertão, optou-se por contabilizar as emissões dessa categoria apenas utilizando a abordagem baseada na localização, por duas razões: primeiro, por ser essa a opção obrigatória para todas as organizações, conforme mencionado anteriormente; segundo, devido à precisão da estimativa gerada e à disponibilidade dos dados necessários.

Nesse sentido, o cálculo da estimativa das emissões de GEE provenientes dessa categoria foi elaborado utilizando a ferramenta de cálculo GHG Protocol (FGV,

2023.0.3), multiplicando-se o consumo mensal de eletricidade pelo fator de emissão correspondente, conforme Equação 7.

Equação 7 – Emissões do Consumo de Energia Elétrica

$$ECEE (tCO_2e) = CEE \times FE_{SIN} \quad 7$$

Onde:

$ECEE (tCO_{2e/ano})$ = Emissões do Consumo de Energia Elétrica

CEE = Consumo de Energia Elétrica em (KWh/ano)

FE_{SIN} = Fator de Emissão do SIN

4.3.2.3 Escopo 3 Outras Emissões Indiretas de GEE

a) Viagens Aéreas a Negócio

As emissões do escopo 3 são aquelas decorrentes das atividades da UFAL Campus Sertão, que ocorrem em fontes que não pertencem ou não são controladas pela IES, mas que estão incorporadas aos processos internos. Para este escopo, foram contabilizadas apenas as viagens aéreas dos servidores para participação em eventos presenciais fora do Estado de Alagoas (viagens a negócio). Vale ressaltar que as estimativas das viagens a negócios terrestres foram incluídas no item combustão móvel. Contudo, para os demais serviços (comprados ou adquiridos) e transportes de bens (Consumo e capital) que contempla o escopo 3 o Campus Sertão não disponibilizou dados necessários, inviabilizando assim a apuração das suas emissões por estas categorias, uma vez que não são controlados pela IES, bem como considerado de relato opcional (FGV, 2023).

Nesse sentido, há três métodos para calcular as emissões desta categoria: baseado em combustíveis, em distância e em gastos. No método baseado em combustíveis, calcula-se a quantidade de combustível consumida durante as viagens de negócios e aplica-se o fator de emissão correspondente. O método baseado em distância requer a determinação da distância e do modo de viagens a negócios, seguido da aplicação do fator de emissão adequado. Já o método baseado em gastos consiste em determinar a quantia gasta em cada modo de transporte de viagens a negócios e aplicar o fator de emissão correspondente.

Para esta categoria, foi escolhido o método baseado na distância devido à disponibilidade das informações necessárias fornecidas pela UFAL Campus Sertão para a contabilização, especialmente quando os custos de deslocamento são cobertos pela instituição.

As informações necessárias à contabilização desta categoria foram prestadas pela Secretária Executiva do Campus. Para isso, foi fornecido um relatório do Sistema de Controle de Passagens (SCDP) com a relação da quantidade de viagens aéreas relacionadas aos anos inventariados (2018 e 2022). Este documento contempla informações sobre a data de embarque, data de retorno, trechos de partida e chegada, nome do passageiro, entre outras informações inerentes a natureza da viagem.

Nesse sentido, o cálculo da estimativa das emissões de GEE provenientes dessa categoria foi elaborado utilizando-se a ferramenta de cálculo GHG Protocol (FGV, 2023.0.3), multiplicando-se a distância do trecho (km) pelo número de trechos vezes o fator de emissão apropriado vezes o potencial de aquecimento como demonstrado na Equação 8.

Equação 8 – Emissões das Viagens a Negócios

$$EVN (tCO_2e) = DT \times QT \times FE \times GWP \quad 8$$

Onde:

$EVN (tCO_2e)$ = Emissões das Viagens a Negócios;

DT = Distância Trecho em Km;

QT = Quantidade de Trechos;

FE = Fator de Emissão de GEE (CO_2 , CH_4 , N_2O) Tabela 8;

GWP = Potencial de Aquecimento Global.

O deslocamento dessa categoria foi dividido em distâncias (curtas, médias e longas) para se aplicar o fator de emissão adequado.

Tabela 8 – Fatores de emissão para viagens aéreas a negócios

Distância do Trecho	FE de CO_2	FE de CH_4	FE de N_2O
	(kg CO_2 /passageiro*Km)	(kg CH_4 /passageiro*Km)	(kg N_2O /passageiro*km)
Curta-distância (d ≤ 500 km)	0,1446	0,0000044	0,0000046

Média-distância (500 < d ≤ 3.700 km)	0,07	0,0000004	0,0000025
Longa-distância (d > 3.700 km)	0,09	0,0000004	0,0000033

Fonte: FGV, (2023).

Cabe ressaltar que no ano de 2020 o Campus Sertão não recebeu nenhum tipo de recurso que viabilizassem viagens aéreas a negócio, com isso não foi possível contabilizar as estimativas de emissões de GEE dessa categoria neste ano.

4.4 PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÃO DE GEE

A metodologia aplicada neste plano, que visa desenvolver uma proposta de redução de emissão, fundamenta-se nas seguintes etapas:

1 - Elaboração dos inventários de GEE escopos 1, 2 e 3 de acordo com o Programa Brasileiro GHG Protocol (FGV, 2023.0.3) e as diretrizes do IPCC (2006 e 2019).

2 - Elaboração das propostas de redução com base nos resultados.

Os inventários foram elaborados de modo individual, ou seja, para cada ano inventariado, analisando-se as emissões dos anos de 2018, 2020 e 2022 para fazer uma comparação entre os anos, levando-se em consideração a Pandemia do COVID-19 no ano de 2020.

No referido estudo de caso, conforme a Figura 15 (fluxograma da metodologia de execução do inventário de emissões de GEE), considerou-se as etapas do Programa Brasileiro GHG Protocol (FGV, 2023.0.3) e IPCC (2006 e 2019) onde definiu-se os limites organizacionais e operacionais da IES contemplando os limites controlados pela UFAL Campus Sertão para obtenção das coletas de dados associados a operação, as fontes e fatores de emissões referenciados e a seleção do ano base.

O referido plano de redução de emissão adotou como parâmetro para escolha das alternativas de redução de GEE aquelas categorias que apresentaram maiores emissões para CO₂, CH₄ e N₂O das fontes de GEE inventariadas nos anos de 2018, 2020 e 2022. As respectivas categorias foram: Combustão móvel e Consumo de

eletricidade, estas foram tratadas de forma mitigatória. Já para as categorias Tratamento de efluentes líquidos (Fossa séptica), Combustão estacionária, Emissões fugitivas e Viagens aéreas a negócio de forma compensatória.

Para os cálculos do plano de redução das respectivas categorias foram tomados como base os demonstrados conforme o item 4.3.2 (cálculos das emissões) anteriormente supracitados.

Nesse contexto, a proposta do plano de redução envolve um planejamento cujos resultados são expressos em porcentagem (%) de redução de emissões e em unidades de tCO₂e.

As organizações têm a opção de selecionar apenas um ano (ano base) ou uma média de séries históricas (período base) como referência para estabelecer suas metas de redução de emissões de GEE (Caldeira, 2020). Com base nisso, o presente plano sugere a proposta de redução com base no resultado das emissões totais em tCO₂e em relação ao ano de 2022.

Para tanto, foram desenvolvidas duas propostas com o intuito de reduzir as emissões dos GEE provenientes das atividades da UFAL Campus Sertão, em Delmiro Gouveia. A primeira a Mitigação e a segunda a Compensação.

4.4.1 Proposta de Mitigação

Para garantir a eficácia das ações propostas no Plano de Redução, foi realizada uma estimativa de redução das emissões de GEE para o ano de 2022, com base nas diferentes categorias. Os resultados dessa estimativa foram comparados com o cenário de emissões do mesmo ano, a fim de verificar sua efetividade.

Para a categoria Combustão móvel foi realizado um comparativo entre emissões (cenário 01 – combustíveis fósseis e cenário 02 – combustíveis renováveis) possibilitando a opção por consumo de biocombustíveis na frota oficial do campus e intervindo diretamente nas emissões de fontes móveis, além de sugerir outras medidas de mitigação elencadas no quadro 4.

Quanto a categoria consumo de eletricidade a proposta de melhoria com redução das emissões de GEE por meio de ações de mitigação, demonstrou-se através de um dimensionamento juntamente com uma análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico, possibilitando uma economia e redução das emissões, levando-se em consideração a estimativa de emissão no ano de 2022. Para

tanto, adotando-se como parâmetro de viabilidade a Mini-usina solar do Campus A.C.Simões (UFAL, 2023b) em conformidade com a Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022 Art.1º, inciso XIII.

Envolver a tecnologia solar fotovoltaica como um agente mitigador para a redução das emissões de GEE, resulta na especificação de um sistema gerador de eletricidade. Nesse sentido, a metodologia empregada para dimensionar este equipamento, necessita de alguns parâmetros específicos para especificar a potência elétrica instalada da usina solar. Assim, com os dados oriundos do consumo de energia elétrica diário (E_C) decorrentes das fontes emissoras de GEE, a taxa de desempenho do sistema fotovoltaico (TD), em conjunto com as informações da média mensal da irradiação solar diária global (H_h), normalizada pela radiação de referência (I_{STC}), cujo valor é 1 kW/m², esta relação é também denominada de Horas de Brilho Solar (HBS) do local de interesse. Calcula-se a potência pico de módulos fotovoltaicos (P_{FV}^0) necessária para a usina solar em função da necessidade de compensação, a partir da Equação 9:

$$P_{FV}^0 = \frac{\frac{E_C}{TD}}{\frac{H_h}{I_{STC}}} \quad 9$$

A condição estocástica do recurso solar revela a real característica da dinâmica energética do sol, quando pensado em um horizonte anual. Principalmente em virtude da sazonalidade e da posição geográfica, é notado que tanto o recurso energético solar, quanto o consumo de eletricidade, seja variável ao longo do ano.

Para este panorama, é imprescindível que o cálculo efetuado pela Equação 9 seja ponderado por tal efeito, levando em consideração o perfil anual das respectivas grandezas, em conjunto com o fator de rendimento global (n) da usina solar. Segundo Oliveira (2018), os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica no Brasil possuem uma taxa de performance entre 70% e 75%. O valor para a HBS pode ser obtido através de softwares online, como é o caso do CRESESB (Centro de referência para as energias solar e eólica Sérgio de S. Brito).

De fato, as considerações descritas anteriormente, estabelece que a potência instalada da usina solar toma como referência um valor médio de potência elétrica, esta condição é totalmente factível, visto que os geradores fotovoltaicos operam

conectados ao sistema elétrico da concessionária local, viabilizando a dinâmica bidirecional da energia elétrica, ou seja, podendo armazenar o excesso de energia em períodos de baixo consumo, e resgatando este mesmo montante em períodos de insuficiência de geração.

4.4.2 Proposta de Compensação

De acordo com Silva et al. (2022, v.3, n.5), uma estratégia para mitigar as emissões de dióxido de carbono (CO₂) é o uso da tecnologia chamada Captura e Armazenamento de Carbono (CCS - Carbon Capture and Storage), que pode envolver a remoção do CO₂ da atmosfera e o reflorestamento, aproveitando o processo natural de absorção do CO₂ pela biomassa durante o crescimento vegetal.

Nesse contexto, a compensação para as categorias tratamento de efluentes líquidos (fossa séptica), combustão estacionária, emissões fugitivas e viagens a negócio aéreas referente ao ano de 2022 foi através do cálculo da quantidade de mudas de árvores plantadas, que visa a neutralização das emissões de CO₂ equivalente, ou seja, retirar o CO₂ da atmosfera e convertê-lo em biomassa por meio do processo de fotossíntese. Esse processo permite o crescimento das árvores e o acúmulo de biomassa ao absorver o CO₂ e liberar oxigênio (O₂) na atmosfera, armazenando o carbono (C) nos troncos, galhos, folhas e raízes (Azevedo et al., 2010). Sob essa perspectiva, calculou-se a compensação de CO₂ emitido pela UFAL Campus Sertão.

Para quantificar o número de árvores nativas do bioma Caatinga, visando neutralizar o CO₂ emitido pela UFAL Campus Sertão, utilizou-se a Equação 10, apresentada por (Azevedo et al., 2010):

$$N = \left[\left(\frac{Et}{Ft} \right) \times 1,2 \right] \times 0,5 \quad 10$$

Onde:

N = Número de árvores a serem plantadas;

Et = Emissão total de GEE estimada no cálculo de emissão (tCO₂e);

Ft = Fator de fixação de carbono em biomassa no local de plantio do projeto (considerar Ft=0,18 tCO₂e/árvore);

1,2 = Fator de compensação para possíveis perdas de mudas;

0,5 = O valor do fator de imprecisão do fator de fixação.

A área total destinada ao plantio de árvores nativas seguirá um espaçamento de 3x2 metros ($6,0\text{m}^2$) entre as plantas (Brianezi et al., 2014). Assim, a área total foi determinada utilizando a Equação 11.

$$At = N \times 6 \quad 11$$

Onde:

At = Área total das plantas;

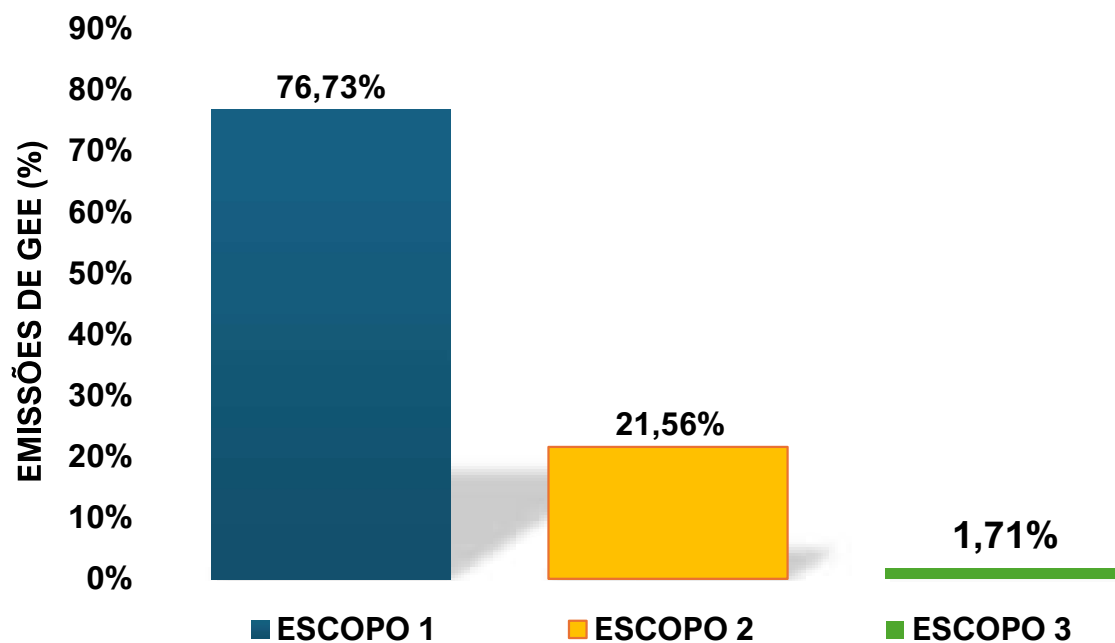
N = Número de árvores a serem plantadas;

6 = Área de cada planta (m^2).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O total das emissões de GEE estimadas para a UFAL Campus Sertão na série histórica de 2018, 2020 e 2022 teve uma média aritmética de 83,84 tCO₂e no triênio. As emissões médias diretas da IES corresponderam a 76,73% (64,33 tCO₂e), enquanto as emissões indiretas representaram 23,27% (19,51 tCO₂e). Entre as emissões indiretas, o escopo 2 foi responsável por 21,56% e o escopo 3 por 1,71%, conforme pode ser observado na Figura 17.

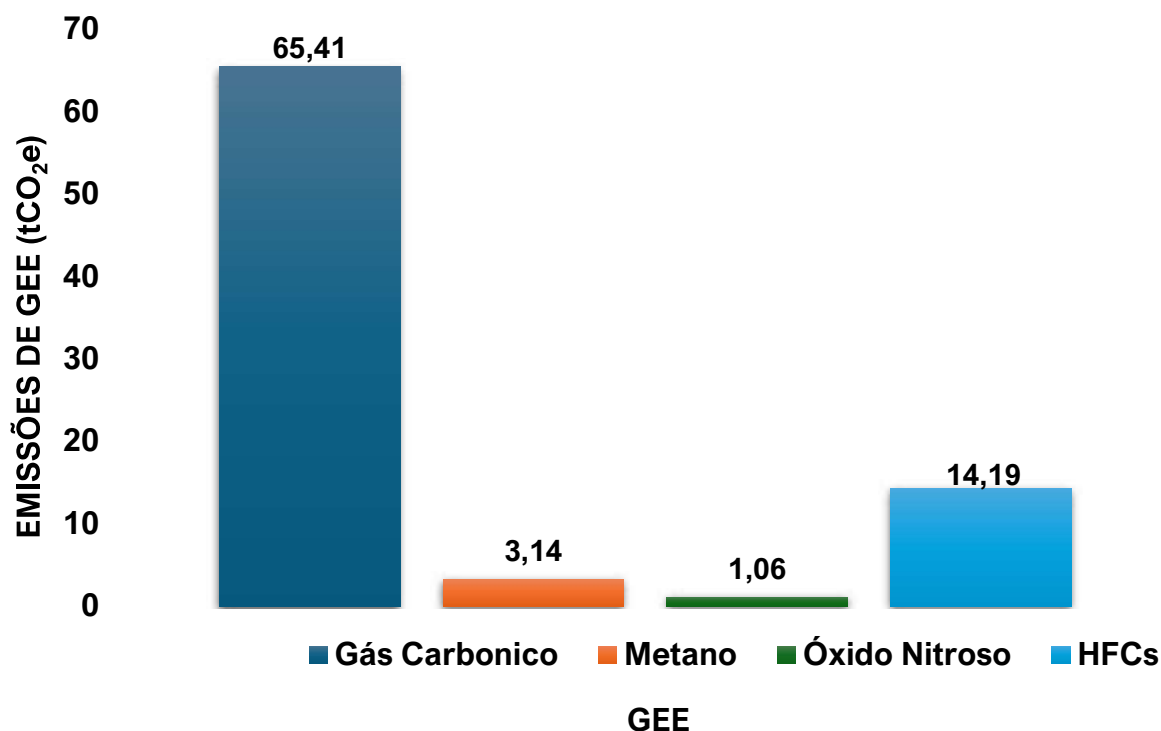
Figura 17 – Média das emissões totais da UFAL, Campus Sertão por escopo nos anos inventariados.



Fonte: O autor, (2024).

Nesse contexto, a Figura 18 apresenta as emissões em toneladas de CO₂ equivalente por tipo de GEE na UFAL Campus Sertão, considerando a média aritmética do triênio de 2018, 2020 e 2022.

Figura 18 – Emissões em toneladas de CO₂ equivalente por tipo GEE da UFAL Campus Sertão, considerando a média aritmética do triênio.

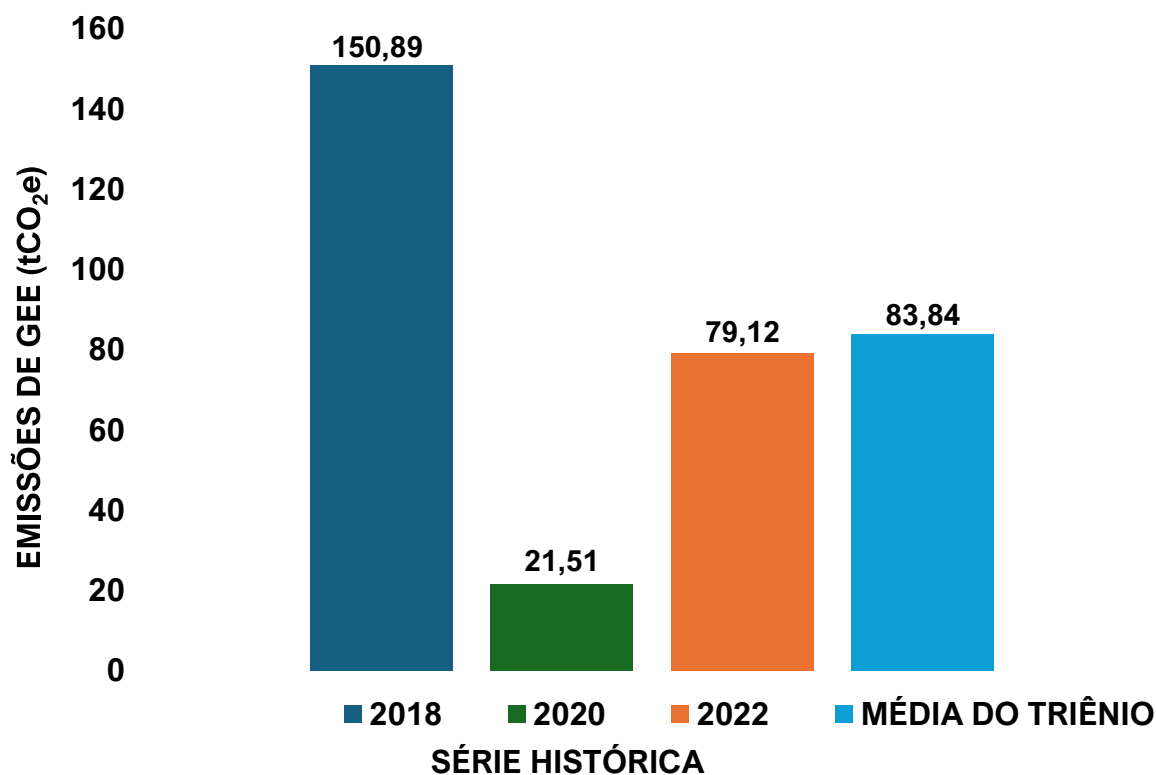


Fonte: O autor, (2024).

No estudo realizado, observou-se que as estimativas de emissões em toneladas métricas de CO₂ equivalente, por tipo de GEE da UFAL Campus Sertão para o triênio inventariado são similares à de outras IES em que predominam as emissões de CO₂ (Dióxido de carbônico) em relação ao Metano (CH₄), Óxido Nitroso (N₂O) e Hidrofluorcarbono (HFCs), devido ser o gás mais abundante dos GEE, apesar desses gases ter o Potencial de Aquecimento Global (GWP) maior que o CO₂.

Nesse contexto, a Figura 19 mostra a estimativa das emissões de GEE da UFAL Campus Sertão em toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂e). A partir desses resultados foi obtida a média aritmética da série histórica de 2018, 2020 e 2022 para o triênio.

Figura 19 – Estimativa das emissões totais em tCO₂e da UFAL Campus Sertão no período de 2018, 2020 e 2022 e média aritmética do Triênio.



Fonte: O autor, (2024).

Observa-se que, no ano de 2020, as emissões de GEE na UFAL Campus Sertão sofreram um declínio. É importante destacar que a pandemia de Covid-19 causou diversas mudanças nas atividades do Campus Sertão, incluindo a suspensão das aulas presenciais e a implementação de restrições nas atividades ao longo desse período.

Diante do exposto, as emissões de GEE da UFAL Campus Sertão resultou em uma redução de 86% (-129,38 tCO₂e) no total anual de emissões de 2018 a 2020. Por outro lado, as emissões totais de GEE aumentaram 268% (57,61 tCO₂e) em relação ao ano anterior ao comparar os anos de 2020 e 2022.

Ademais, é importante destacar que os valores de cada escopo, categoria, ano e a média aritmética do triênio de 2018, 2020 e 2022 são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Estimativa das Emissões de GEE por escopo, categoria e média do triênio.

Escopos	Categorias	Ano	Emissões (tCO _{2e})	Emissão total (tCO _{2e})
Escopo 1	Combustão Estacionária	2018	-	117,29
	Combustão Móvel		99,04	
	Emissões Fugitivas		18,25	
	Tratamento de Efluentes		-	
Escopo 2	Consumo de Energia		29,93	29,93
Escopo 3	Viagens a Negócio Aéreas		3,67	3,67
Total				150,89
Escopo 1	Combustão Estacionária	2020	1,32	7,74
	Combustão Móvel		6,42	
	Emissões Fugitivas		-	
	Tratamento de Efluentes		-	
Escopo 2	Consumo de Energia		13,77	13,77
Escopo 3	Viagens a Negócio Aéreas		-	-
Total				21,51
Escopo 1	Combustão Estacionária	2022	5,29	67,95
	Combustão Móvel		28,27	
	Emissões Fugitivas		24,32	
	Tratamento de Efluentes		10,07	
Escopo 2	Consumo de Energia		10,54	10,54
Escopo 3	Viagens a Negócio Aéreas		0,63	0,63
Total				79,12
Média aritmética do triênio das emissões totais (tCO_{2e}) na série histórica (2018, 2020 e 2022)				83,84

Fonte: O autor, (2024).

5.1 EMISSÕES DIRETAS - ESCOPO 1

As emissões diretas de GEE provenientes das atividades da UFAL Campus Sertão estão detalhadas a seguir e incluem as categorias de combustão estacionária, combustão móvel, emissões fugitivas e tratamento de efluentes líquidos.

5.1.1 Categoria - Combustão estacionária

Quanto a essa categoria, foram identificadas 5 (cinco) fontes de emissão durante o período inventariado: dois fogões industriais, duas chapas e um forno, cujas emissões estão detalhados na Tabela 10.

Tabela 10 – Estimativa de emissões de GEE por Combustão Estacionária

Fonte	Ano	Consumo anual (Ton)	Emissões totais (tCO₂e)
2 - Fogões Industriais	2018	-	-
	2020	0,45	1,32
2 – Chapas 1 – Forno	2022	1,80	5,29
Total		2,25	
Média aritmética tCO₂e			3,30

Fonte: O autor, (2024).

Durante o período inventariado (2020 e 2022), o Restaurante Universitário (RU) da UFAL Campus Sertão consumiu 2,25 toneladas de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP). Ao utilizar esse dado de consumo e aplicar os fatores de emissão correspondentes na ferramenta GHG Protocol 2023.0.3, resultou em uma média aritmética de 3,30 tCO₂e para os anos estudados. Isso representa 5,13% do total das emissões diretas da Universidade.

Vale destacar que as emissões relacionadas a esta categoria foram estimadas apenas para os anos de 2020 e 2022. No ano de 2018, o Restaurante Universitário (RU) não estava operando e, portanto, não foi incluído nesta pesquisa.

5.1.2 Categoria - Combustão móvel

Em relação a esta categoria a UFAL Campus Sertão teve um consumo de 10.949,67 litros de gasolina, 48.320,78 litros de óleo diesel durante o período inventariado. Esses dados são referentes à frota de veículos oficiais do Campus

Sertão. Após a análise dos dados, o total de emissões de GEE desta categoria, representou uma média aritmética de 44,58 tCO₂e. Isso equivale a 69,30% do total das emissões diretas da IES.

A Tabela 11 apresenta a quantificação das emissões de GEE para fontes de combustão móvel por consumo de óleo diesel e gasolina respectivamente, além disso apresenta a média aritmética da série histórica de 2018, 2020 e 2022 das emissões totais, provenientes do uso de veículos oficiais para atividades administrativas e acadêmicas no Campus Sertão.

Tabela 11 – Estimativa de emissões de GEE por Combustão móvel, UFAL Campus Sertão

Tipo de Combustível	Ano	Consumo anual L	Emissões totais (tCO₂e)
Gasolina	2018	6.092,74	10,27
Óleo Diesel		37.142,00	88,77
Total		43.234,74	99,04
Gasolina	2020	0	0
Óleo Diesel		2.739,41	6,42
Total		2.739,41	6,42
Gasolina	2022	4.856,93	8,18
Óleo Diesel		8.439,37	20,09
Total		13.296,30	28,27
Total Geral		59.270,45	
Média aritmética do triênio das emissões totais (tCO₂e)			44,58

Fonte: O autor, (2024).

Nota-se na Tabela 11 que as emissões totais desta categoria são provenientes exclusivamente de veículos que utilizam combustíveis fósseis que são considerados bastantes poluentes. Não há na IES uma cultura de abastecimento dos veículos por combustíveis produzidos a partir de fontes renováveis, como etanol e o biodiesel, que possuem menores emissões de CO₂.

Entende-se que o número de veículos movidos a óleo diesel seja maior em comparação aos veículos movidos a gasolina, observa-se também que o consumo de óleo diesel é consideravelmente mais alto do que o de gasolina.

Observa-se que o uso de combustíveis contribui de forma significativa para o total de emissões diretas. Portanto, promover uma cultura de abastecimento sustentável no Campus Sertão, através do uso de combustíveis derivados de fontes renováveis, tem o potencial de diminuir as emissões de GEE desta categoria.

Observa-se, também na Tabela 11, que as estimativas de emissões de GEE foram menores em 2020 quando comparadas aos anos de 2018 e 2022.

Ademais, conforme já relatado anteriormente, é relevante destacar que a pandemia de Covid-19 provocou várias alterações nas atividades do Campus Sertão ao longo de 2020, incluindo a suspensão das atividades administrativas e acadêmicas, o que resultou em um impacto positivo nas emissões de GEE no Campus Sertão.

5.1.3. Categoria - Emissões Fugitivas

Para esta categoria, foram identificados como fontes de emissões fugitivas de GEE durante os anos inventariados apenas extintores de incêndio (CO₂) e aparelhos de ar-condicionado, cujas emissões estão detalhadas na Tabela 12.

A Tabela 12 apresenta a quantidade de gases CO₂, R410A e R422D utilizados nas recargas de extintores e aparelhos de ar-condicionado, bem como as emissões correspondentes de GEE da Universidade durante os anos avaliados.

Esta categoria consumiu 119,53 quilogramas de gases em 2018 e 146,91 em 2022, especificamente os gases CO₂, R410A e R422D.

Utilizando-se esses dados de consumo pelo método de triagem e aplicando os fatores de emissão correspondentes na ferramenta GHG Protocol 2023.0.3, calculou-se o total de emissões de GEE desta categoria, correspondendo a 42,57 tCO₂e. Isso representa 22,06% do total das emissões diretas da Instituição.

Tabela 12 – Estimativa de emissões de GEE por Emissões fugitivas

Tipo de gás	GWP	Ano	Qt. (Kg)	Percentual	Emissões totais (tCO ₂ e)	Percentual
CO ₂	1	2018	42		0,01	
R410A	1.924		16,46	15,76%	3,17	0,03%
R422D	2.470		61,07	6,18%	15,07	7,45%
Total			119,53	22,92%	18,25	35,40%
				44,86		42,88%
CO ₂	1	2022	42		0,01	
R410A	1.924		29,14	15,76%	5,60	0,03%
R422D	2.470		75,77	10,94%	18,71	13,14%
Total			146,91	28,44%	24,32	43,95%
				55,14%		57,12%

Total Geral	266,44	100%	42,57	100%
tCO₂e/kg	0,16			

Fonte: O autor, (2024).

Percebe-se que as recargas que empregaram o gás R410A, embora em quantidades menores (16,46 kg em 2018 e 29,14 kg em 2022), foram responsáveis por emitir GEE na atmosfera, equivalendo a 3,17 tCO₂e (7,45%) e 5,60 tCO₂e (13,14%), respectivamente. Esses valores superaram significativamente as emissões das recargas que utilizaram CO₂ em extintores de incêndio, totalizando 42 kg para ambos os anos e gerando 0,01 tCO₂e (0,03%) de GEE. Da mesma forma, as recargas que utilizaram o gás R422D, representando 61,07 kg em 2018 e 75,77 kg em 2022, resultaram em emissões de 15,07 tCO₂e (35,40%) e 18,71 tCO₂e (43,95%), respectivamente, representando a maior parte das emissões fugitivas originárias da UFAL Campus Sertão.

Entende-se, que os gases R410A e R422D são bastantes poluentes, o que levou a uma proporção maior de emissões fugitivas, mesmo quando utilizados em menor quantidade, devido ao seu alto potencial de aquecimento global (GWP), que é 1.924 e 2.470 vezes maior, respectivamente, em relação ao CO₂. Em contrapartida, o CO₂ representou apenas 0,03% das emissões fugitivas para ambos os anos, apesar de ser utilizado em maior quantidade por quilograma em comparação com o gás R410A.

É importante ressaltar que, para esta categoria, não foram estimadas as emissões para o ano de 2020 devido à ausência de manutenções (preventivas e/ou corretivas) nos respectivos aparelhos de ar-condicionado e nos extintores de incêndio, devido à pandemia de Covid-19 ocorrida nesse ano. Portanto, esses dados não foram incluídos nesta análise.

5.1.4. Categoria - Tratamento de Efluentes líquidos

Nesta categoria, estão contempladas as emissões de GEE provenientes do tratamento de efluentes líquidos, as quais provieram de uma fossa séptica localizada no próprio Campus a qual é utilizada para tratamento, cujos dados estão detalhados nas Tabelas 13 e 14 respectivamente. Em 2022, a UFAL Campus Sertão tratou um

volume de efluentes líquidos equivalente a 6.437,13 m³/ano para uma população total de 1.507 pessoas, englobando os servidores, discentes e os terceirizados que prestam serviços à instituição.

Com base nesses dados e ao aplicar os fatores de emissão pertinentes na ferramenta GHG Protocol 2023.0.3, o total de emissões de gases de efeito estufa desta categoria foi calculado, resultando em 10,07 tCO_{2e}. Isso equivale a 5,21% do total das emissões diretas da Universidade.

Tabela 13 – Dados da fossa séptica utilizada para tratamento de efluente

Tipo de tratamento	FCM – CH₄	COD	Qt. Efluente m³/ano	População
Fossa Séptica	0,5000	0,40	6.437,13	1.507
Total				1.507

Fonte: UFAL, IPCC (2006 e 2019b)

Tabela 14 – Emissões de GEE da fossa séptica utilizada para tratamento de efluente

Tipo de tratamento	Metano (tCH₄/ano)	Gás Carbônico Equivalente (tCO_{2e}/ano)	Emissões per capita (tCO_{2e}/pessoa)
Fossa Séptica	0,32	10,07	0,007
Total	0,32	10,07	0,007

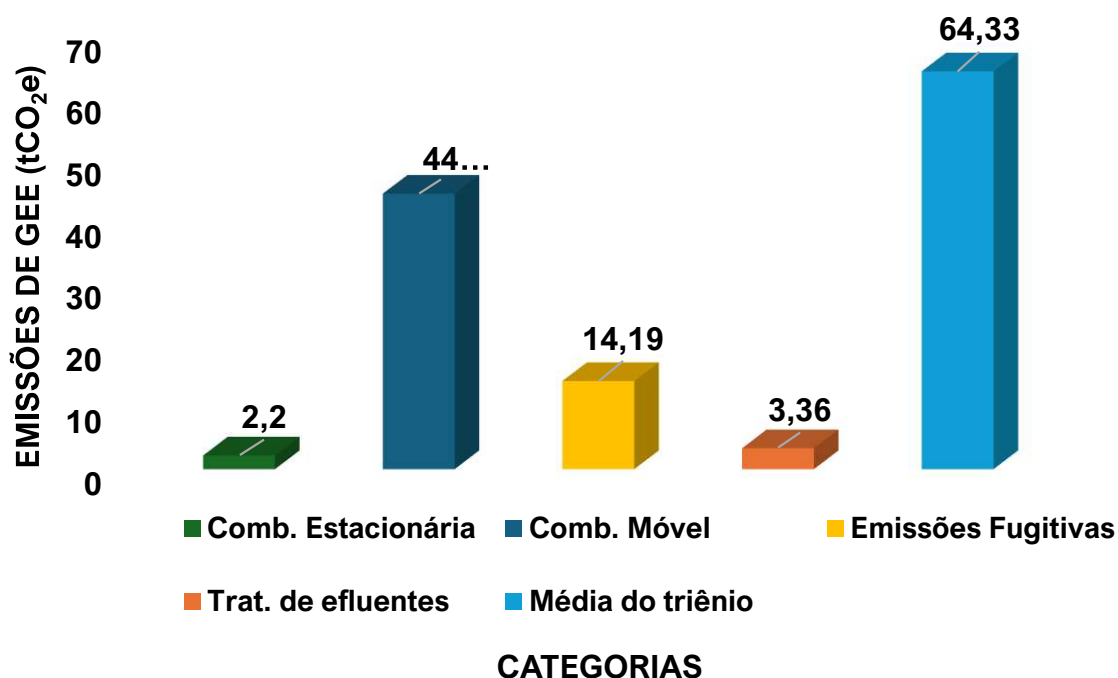
Fonte: O autor, (2024).

Na Tabela 14, compreende-se que as emissões provenientes do gás metano totalizam 0,32 tCH₄/ano, enquanto as emissões de CO₂ somam 10,07 tCO_{2e}/ano, apresentando uma maior representatividade nesta categoria.

Nesse contexto, é relevante ressaltar que as estimativas de emissões de GEE decorrentes do tratamento de efluentes líquidos nos anos de 2018 e 2020 não foram analisadas devido à UFAL Campus Sertão não ter o controle dos dados necessários para esta categoria. Apenas foi possível realizar a estimativa das emissões no ano de 2022, quando um estudo foi conduzido no Campus pelos alunos da disciplina de ACE 5, em colaboração com o professor Dr. Antônio Netto. Nesse estudo, foi calculado o consumo de água e esgoto da IES durante esse ano.

Além disso, a Figura 20 apresenta uma análise comparativa das estimativas de emissões de GEE das categorias do escopo 1 e a média aritmética do triênio de 2018, 2020 e 2022.

Figura 20 – Comparação das categorias de emissões de GEE do escopo 1 e a média do triênio.

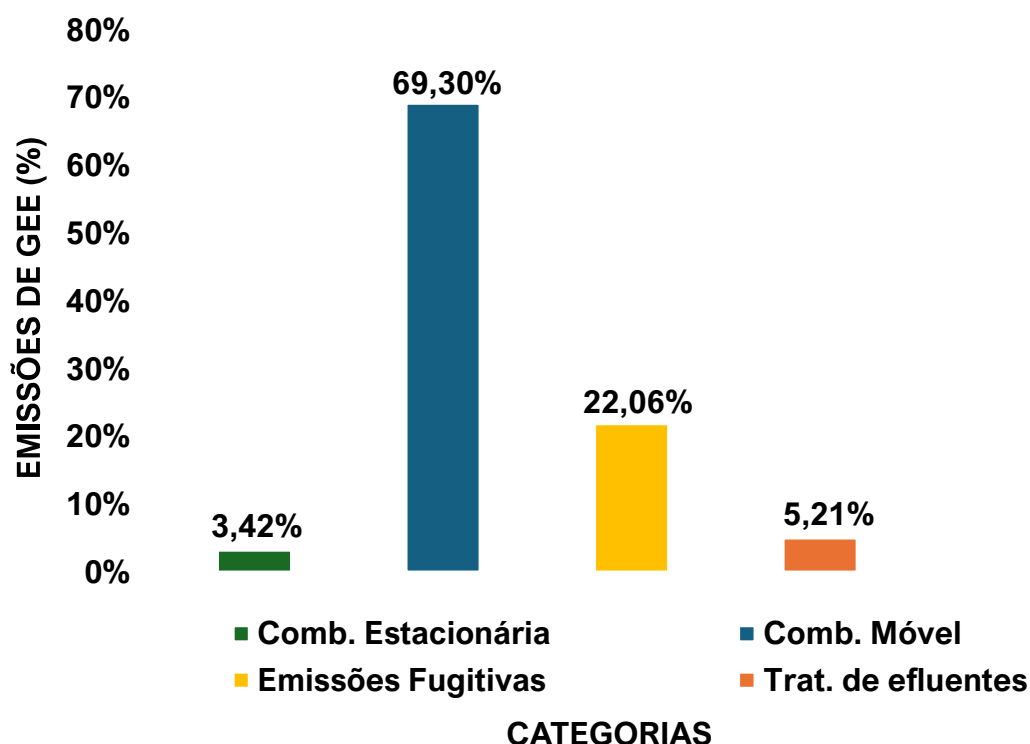


Fonte: O autor, (2024).

Ao comparar os resultados da contabilização das emissões de GEE do escopo 1 das categorias (combustão estacionária, combustão móvel, emissões fugitivas e tratamento de efluentes), constata-se que a maior delas é a combustão móvel, sendo responsável por 69,30% das emissões, enquanto a menor é atribuída à combustão estacionária, representando 3,42%, conforme pode ser observado na Figura 21.

Entende-se que o uso de combustíveis fósseis contribuiu significativamente para o total de emissões diretas em comparação com outras categorias. Portanto, se faz necessário promover ações sustentáveis que minimizem os impactos das emissões diretas de tCO₂e no Campus Sertão, especialmente na combustão móvel, que foi a categoria que mais aumentou as emissões em relação às demais.

Figura 21 - Porcentual da estimativa de emissões por categoria escopo 1 no triênio de 2018, 2020 e 2022.



Fonte: O autor, (2024).

Ademais, de acordo com o jornal da Universidade de São Paulo – USP (2022), parte da matriz energética global é composta por recursos não renováveis, representando cerca de 81,1%. Nessa categoria estão incluídos o petróleo e seus derivados, o carvão mineral e o gás natural. Portanto, investir em soluções baseadas em fontes de energia renováveis é fundamental para reduzir as emissões de CO₂ na atmosfera e enfrentar as mudanças climáticas. Além disso, essa transição contribui para melhorar a saúde das pessoas e preservar o meio ambiente como um todo.

5.2 EMISSÕES INDIRETAS - ESCOPO 2

5.2.1 Consumo de Energia Elétrica

Para esta categoria são contempladas as emissões de GEE provenientes do consumo de energia elétrica, as quais provieram das atividades administrativas e acadêmicas da UFAL Campus Sertão, no triênio de 2018, 2020 e 2022.

A UFAL Campus Sertão, consumiu 875,008 MWh/ano de energia elétrica durante o período inventariado. Com base nesse dado e aplicando os fatores de emissão pertinentes na ferramenta GHG Protocol 2023.0.3, foi calculado o total de emissões de GEE dessa categoria, resultando em uma média aritmética de 18,08 tCO₂e para o triênio.

A Tabela 15 apresenta o consumo e o fator anual das estimativas de emissões correspondentes, bem como a média aritmética do triênio do período inventariado para o escopo 2.

Tabela 15 – Estimativas das emissões do escopo 2 e a média aritmética do triênio referentes ao consumo de energia elétrica da UFAL Campus Sertão.

Ano	Fator de Emissão (tCO₂e/MWh)	Consumo (MWh)	Emissões totais (tCO₂e)
2018	0,0740	404,579	29,93
2020	0,0617	223,090	13,77
2022	0,0426	247,339	10,54
Total		875,008	
Média aritmética do triênio das emissões totais			18,08

Fonte: O autor, (2024).

Ao analisar os resultados da contabilização das emissões de GEE do escopo 2, conforme apresentado na Tabela 15, verifica-se que a maior emissão em tCO₂e ocorreu no ano de 2018, totalizando 29,93 tCO₂e das emissões, enquanto a menor foi registrada em 2022, com 10,54 tCO₂e. Além disso, ao comparar os anos de 2020 e 2022, nota-se que 2022 registra a menor emissão em tCO₂e, apesar do impacto significativo causado pela Pandemia de Covid-19 nas emissões de GEE na UFAL Campus Sertão em 2020, o que resultou em várias alterações nas atividades do Campus, conforme já justificado anteriormente.

Além disso, é válido ressaltar que essa mudança pode ser atribuída à variação dos fatores de emissão por geração de eletricidade no Sistema Interligado Nacional (SIN). Esta variação ocorre devido à diversidade de fontes de energia utilizadas na geração elétrica, o que resulta em diferentes níveis de emissões de GEE, influenciando significativamente as emissões associadas ao consumo de energia elétrica nesse período.

5.3 EMISSÕES INDIRETAS – ESCOPO 3

5.3.1 Viagens Aéreas a Negócio

Nesta categoria, incluem-se as emissões de GEE provenientes de viagens aéreas a negócio realizadas pelo Campus Sertão durante os anos de 2018 e 2022.

Em 2018, o Sistema de Controle de Passagens (SCDP) registrou 16 viagens para diversos destinos, enquanto em 2022 foram registradas apenas 2 viagens, considerando o trajeto de ida e volta. Com base nessas informações e ao aplicar os fatores de emissão correspondentes na ferramenta GHG Protocol 2023.0.3, a estimativa das emissões para as viagens aéreas a negócio durante o período analisado corresponderam a 3,67 tCO₂e e 0,63 tCO₂e para os anos de 2018 e 2022, respectivamente, conforme pode ser observado na Tabela 16, considerando a distância total percorrida pelos servidores da UFAL Campus Sertão.

A Tabela 16, apresentada as estimativas de emissões totais em tCO₂e geradas por viagens aéreas a negócios, bem como a distância total em quilômetros percorridos por ano durante o período inventariado.

Tabela 16 – Estimativa de emissões das viagens a negócios aéreas por trajeto durante o período inventariado.

Ano	Trajeto	Distância do trajeto (Km)	Quant. trajetos realizados	Distância total (Km/ano)	Emissões totais (tCO₂e)
2018	Maceió (AL) – Cascavel (PR)	2.658	2	5.316	0,54
	Maceió (AL) - São Paulo (SP)	1.947	2	3.894	0,4
	Maceió (AL) - Rio de Janeiro (RJ)	1.677	6	10.062	1,03
	Maceió (AL) - Belém (PA)	3.107	2	6.214	0,63
	Maceió (AL) - Uberlândia (MG)	2.483	2	4.966	0,5
	Maceió (AL) - Porto Alegre (RS)	2.779	2	5.558	0,57
	Total	14.651	16	36.010	3,67
	tCO₂e/Km/ano			0,10	
2022	Maceió (AL) - Belém (PA)	3.107	2	6.214	0,63
	Total	3.107	2	6.214	0,63
	tCO₂e/Km/ano			0,10	

Fonte: O autor, (2024).

Observa-se na Tabela 16, que não houve contabilização da estimativa de emissões de GEE referentes a viagens aéreas a negócio para o ano de 2020. Isso se deve ao impacto da pandemia de Covid-19, que causou diversas alterações nas atividades do Campus Sertão. Como resultado, não foram obtidos recursos que possibilitassem viagens aéreas a negócio, o que impossibilitou a contabilização das estimativas de emissões de GEE dessa categoria para esse período. Além disso, vale destacar que as estimativas das viagens a negócios terrestres foram inclusas no item combustão móvel.

5.4 EMISSÕES BIOGÊNICAS

Nesta etapa, são contempladas as emissões biogênicas de GEE resultantes da combustão móvel da série histórica de 2018, 2020 e 2022 e a média aritmética do triênio.

O dióxido de carbono (CO₂) biogênico é derivado de processos biológicos e resulta da transformação do carbono contido na biomassa (vegetal, animal, algas etc.) em CO₂. Este carbono é originalmente capturado da atmosfera durante a fotossíntese, um processo que remove CO₂ do ar e o armazena na biomassa. Portanto, as emissões de CO₂ biogênico não contribuem para o aumento da concentração de GEE na atmosfera, pois fazem parte do ciclo natural do carbono (Caldeira, 2020).

De acordo com as diretrizes da ferramenta GHG Protocol 2023.0.3, as emissões de CO₂ biogênico são quantificadas apenas para fontes específicas, e devem ser registradas separadamente dos outros gases. Elas não são somadas aos resultados das emissões antropogênicas nos inventários de GEE.

Nas atividades da UFAL Campus Sertão, ocorrem emissões de CO₂ biogênico apenas para categoria de combustão móvel (escopo 1). A estimativa dessas emissões foi uma média aritmética de aproximadamente 5,35 tCO₂ biogênico durante o triênio inventariado.

A Tabela 17, apresenta as estimativas das emissões de CO₂ biogênico relacionadas à combustão móvel (escopo 1) e a média aritmética do triênio inventariado. Essas estimativas totalizaram 11,24 tCO₂b, 0,75 tCO₂b e 4,05 tCO₂b para os anos de 2018, 2020 e 2022, respectivamente.

Tabela 17 – Estimativa de emissões de CO₂ biogênico das atividades da UFAL Campus Sertão no período inventariado

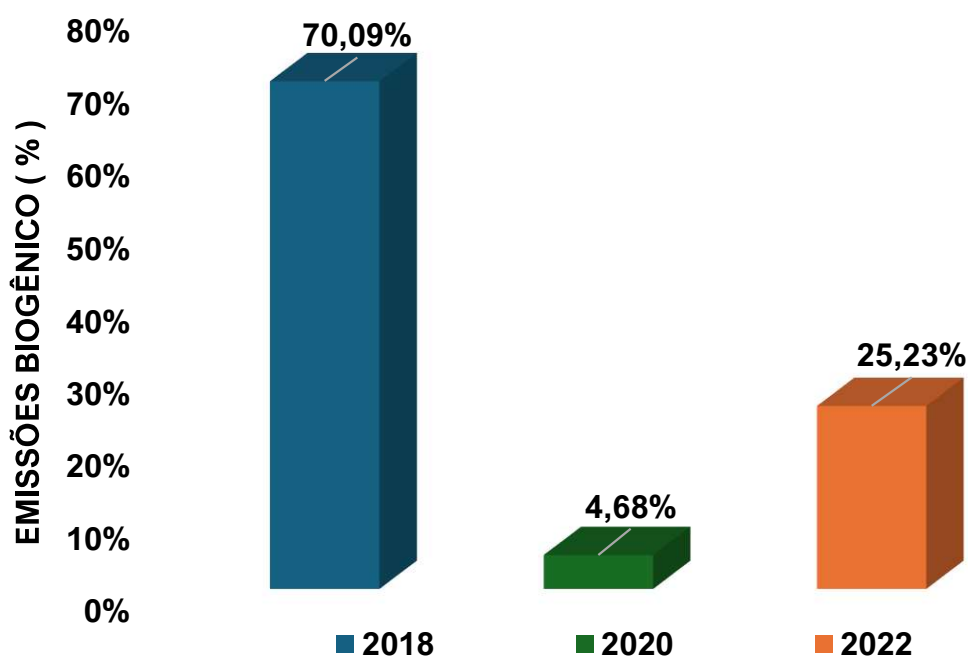
Emissões de gases de efeito estufa inventariadas			
Escopo	Ano	Categoria	Emissões tCO ₂ biogênico
1	2018	Combustão móvel	11,24
	2020		0,75
	2022		4,05
Média aritmética do triênio das emissões totais biogênico			5,35

Fonte: O autor, (2024).

Nesse sentido, convém destacar que os resultados da estimativa de CO₂ biogênico descritos na Tabela 17 servem apenas como informação adicional e não são somados aos resultados dos inventários, conforme recomendado pela ABNT NBR ISO 14064-1:2022, devido ao fato de serem parte do ciclo natural do carbono.

Considerando esse contexto, a Figura 22 apresenta o percentual da estimativa das emissões biogênicas da UFAL Campus Sertão em relação aos anos inventariados.

Figura 22 - Percentual da estimativa das emissões biogênicas da UFAL Campus Sertão em relação aos anos inventariados.



SÉRIE HISTÓRICA

Fonte: O autor, (2024).

Quanto à emissão per capita da UFAL Campus Sertão, é relevante destacar a comparação dos resultados dos inventários, utilizando os indicadores relacionados à população e à estimativa de emissões de GEE (tCO₂e) per capita durante a série histórica de 2018, 2020 e 2022. Os resultados correspondentes estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Indicadores de população X Emissões per capita de GEE por ano, UFAL Campus Sertão.

Campus Ceará				
Ano	Indicador	Quant.	Emissões (tCO ₂ e)	Emissões per capita (tCO ₂ e/pessoa)
2018	População	1.516	150,89	0,10
2020		1.306	21,51	0,02
2022		1.507	79,12	0,05
Média aritmética do triênio das emissões totais per capita				0,06

Fonte: O autor, (2024).

Observa-se na Tabela 18 que a estimativa das emissões per capita da UFAL Campus Sertão registrou sua maior contribuição em 2018, com 0,10 tCO₂e/pessoa, enquanto a menor foi em 2020, com 0,02 tCO₂e/pessoa. Além disso, ao comparar os anos de 2020 e 2022, nota-se que 2020 ainda apresenta a menor emissão per capita em tCO₂e/pessoa. Isso se deve aos impactos significativos da pandemia de Covid-19 nas emissões de GEE na UFAL Campus Sertão em 2020.

Ademais, é importante destacar que a população de 1.306 referente ao ano de 2020 corresponde aos meses de janeiro a março. Os meses posteriores não foram contemplados nesse quantitativo devido aos impactos da pandemia, que resultaram na suspensão das atividades acadêmicas e administrativas no Campus Sertão.

5.5 COMPARATIVO DE INVENTÁRIOS DA UFAL CAMPUS SERTÃO E IES EM NÍVEL NACIONAL

A Tabela 19 apresenta a comparação entre o inventário da UFAL Campus Sertão e outras IES em nível nacional, mostrando os resultados das emissões de GEE em percentuais por escopo.

Tabela 19 - Análise comparativa entre o inventário da UFAL Campus Sertão X IES em nível nacional

	Autores	IES	Local	Resultados por escopo		
				1	2	3
1	O autor, (2024)	UFAL	Campus Sertão - AL	76,73%	21,56%	1,71%
2	Santos et al., (2010)	UFT	Palmas - TO	76%	24%	Não estimado
3	Brianeze et al., (2014)	UFV	Viçosa - MG	80%	20%	Não estimado
4	Yabushita, (2013)	UTF	Campos Mourão - PR	96,02%	3,98%	Não estimado
5	Gonzaga, (2016)	UFU	Uberlândia - MG	29%	71%	Não estimado
6	Carvalho et al., (2017)	PUC	Rio de Janeiro - RJ	1,78%	0,22%	98%
7	Gonçalves et al., (2016)	Unicamp	Limeira - SP	0,47%	4,53%	95%
8	Cruz, (2020)	UFS	Campus São Cristóvão - SE	2,32%	5,01%	92,68%

Fonte: O autor, (2024).

Dentre os oito inventários listados na Tabela 19 das IES em nível nacional, os que mais se assemelham ao da UFAL Campus Sertão foram os da Universidade Federal do Tocantins, Universidade Federal de Viçosa e Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Esses inventários mostram que as maiores emissões de GEE em termos percentuais correspondem ao escopo 1, com 76%, 80% e 96,02%, respectivamente. Por outro lado, ao comparar os resultados dos inventários das IES que contabilizaram o escopo 3, as maiores emissões foram observadas na PUC, Unicamp e Universidade Federal de Sergipe, exceto na UFAL Campus Sertão, que emitiu apenas 1,71% para esse escopo.

No entanto, vale ressaltar que não foram estimadas as emissões das categorias de resíduos gerados nas operações do Campus Sertão devido à falta de dados necessários, nem as emissões decorrentes do deslocamento de funcionários e alunos (casa-trabalho), pois isso exigiria revisão e aprovação pelo comitê de ética da instituição. Essa ausência de dados impossibilitou a estimativa de emissões para essas categorias, que são notadamente relevantes para as IES dentro deste escopo, embora sejam consideradas de relato opcional (FGV, 2023). Ademais, ao comparar os resultados dos oito inventários que contabilizaram as emissões do escopo 2,

verifica-se que somente a Universidade Federal de Uberlândia apresentou o maior percentual de emissões de GEE, com 71% para este escopo.

5.6 PLANO DE REDUÇÃO DE EMISSÃO DE GEE

Nesta etapa do trabalho, foram considerados os resultados do inventário obtidos no ano de 2022, juntamente com as alternativas de redução e compensação das emissões de GEE para o estudo de caso.

A realização do inventário de emissão de GEE foi o primeiro passo na abordagem das Mudanças Climáticas na UFAL Campus Sertão. Os dados resultantes do inventário forneceram a base para o desenvolvimento do Plano de Redução das emissões de GEE, permitindo assim a definição de medidas para mitigar e compensar suas emissões.

Reduzir as emissões de GEE por meio do reflorestamento ou da conservação florestal é uma medida valiosa para mitigar o efeito estufa. No entanto, essa abordagem não deve ser a única priorizada; outras medidas devem ser implementadas simultaneamente. Além disso, as universidades desempenham um papel importante não apenas no avanço científico, mas também na liderança de iniciativas socioambientais (Brianezi et al., 2014).

Por estas razões, enfatiza-se a importância da atualização regular do inventário de emissões de GEE, abrangendo todas as categorias de emissões. Além disso, destaca-se a necessidade de implementar um programa abrangente de educação ambiental, que inclua editais internos para apoiar projetos de extensão sobre mudanças climáticas e soluções viáveis para promover a justiça climática, impulsionar o desenvolvimento sustentável e enfrentar as desigualdades (econômicas, sociais, de gênero, de raça e étnicas).

Dado que as emissões de GEE se concentraram principalmente nos Escopos 1 e 2, que se referem às emissões diretas e indiretas associadas ao consumo de “combustíveis fósseis” e “energia elétrica”, respectivamente, é possível identificar que essas fontes apresentam um potencial maior para iniciativas que visem a redução das emissões de GEE.

Nesse sentido, o plano de redução de emissões de GEE proposto visa abordar as seguintes ações:

1. Proposta de Mitigação
2. Proposta de Compensação

5.6.1 Redução das emissões através da proposta de mitigação

a) Categoria Combustão móvel

Através da Ferramenta de Cálculo de emissões de GEE do Programa Brasileiro GHG Protocol 2023.0.3 foi possível mensurar a estimativa de redução das emissões para esta categoria.

A Tabela 20 compara a redução estimada das emissões de GEE entre dois cenários: o primeiro considera o uso de combustíveis fósseis, enquanto o segundo envolve o uso de combustíveis renováveis, derivados de biocombustíveis. Essa análise foi realizada com base no consumo de combustível dos veículos oficiais para atividades administrativas e acadêmicas na UFAL Campus Sertão durante o ano de 2022. Essa comparação possibilita avaliar o impacto direto da opção por biocombustíveis na frota oficial do Campus sobre as emissões provenientes de fontes móveis, representando uma redução de 38,59% do total das emissões diretas da Instituição atribuída à combustão móvel, saindo de 28,27 tCO₂e para 17,36 tCO₂e, conforme pode ser observado na Figura 23.

Tabela 20 – Comparativo entre as estimativas das emissões decorrente do consumo de combustível fósseis e renováveis.

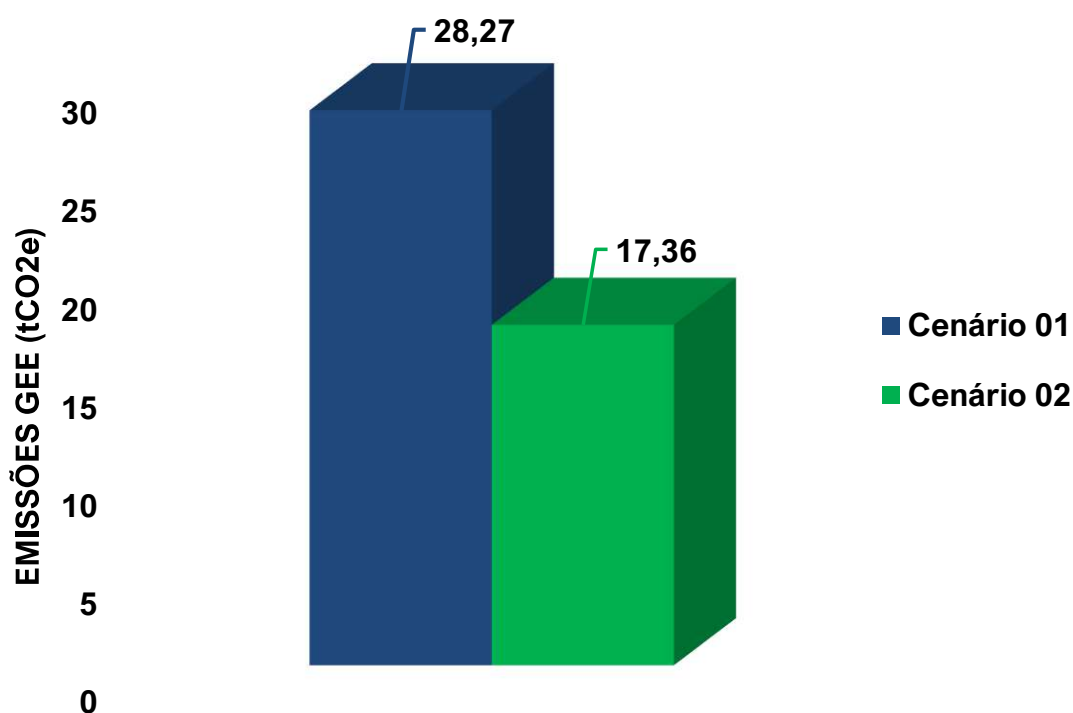
Cenário 01 – Combustíveis fósseis (Atual)			Cenário 02 – Combustíveis renováveis (Proposta)		
Tipo de Combustível	Consumo anual (L)	Emissões totais (tCO ₂ e)	Tipo de Combustível	Consumo anual (L)	Emissões totais (tCO ₂ e)
Gasolina	4.856,93	8,18	Etanol	4.856,93	0,07
Etanol	-	-			
Óleo Diesel	8.439,37	20,09	Biodiesel B14 (86/14)	8.439,37	17,29
Total	13.296,30	28,27	Total	13.296,30	17,36

Fonte: O autor, (2024).

Percebe-se na Tabela 20 que as emissões totais desta categoria são exclusivamente provenientes de veículos que utilizam combustíveis fósseis, considerados altamente poluentes.

Ademais, é importante ressaltar que a ferramenta de cálculo GHG Protocol considera o biodiesel B100, mas atualmente o biodiesel comercializado no país é o B14, que representa 14% do óleo diesel vendido ao consumidor final, (Resolução CNPE, 2023).

Figura 23 - Estimativa de redução das emissões (tCO₂e) atribuída à combustão móvel referente ao ano 2022.



Fonte: O autor, (2024).

Observou-se também, que o uso de combustíveis fósseis tem um impacto significativo no total de emissões diretas. Portanto, promover campanhas de conscientização e incentivar programas de compras verdes poderia estimular o abastecimento sustentável no Campus Sertão, por meio do uso de combustíveis derivados de fontes renováveis. Essa iniciativa tem o potencial de reduzir as emissões de GEE desta categoria.

Outras medidas de mitigação desta categoria incluem adotar práticas que visem controlar o consumo, como a renovação da frota com a aquisição de veículos classificados como A ou B pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular, ou que sejam movidos a combustíveis menos poluentes, como etanol (flex), GNV ou eletricidade, além de serem equipados com dispositivos de GPS. Ademais, realizar

revisões periódicas na frota para detectar problemas de manutenção, evitando assim o consumo desnecessário de combustível (Cruz *et al.*, 2020).

b) Categoria Consumo de Energia Elétrica

Para a categoria de consumo de eletricidade, a proposta de melhoria para a redução das emissões de GEE por meio de ações de mitigação foi apresentada por meio de um dimensionamento, juntamente com uma análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico (FV). Essa abordagem possibilitou não apenas economia, mas também uma redução significativa das emissões. Dentro desse contexto, introduzir a tecnologia solar fotovoltaica como um agente mitigador para reduzir as emissões de GEE resulta na especificação de um sistema gerador de eletricidade.

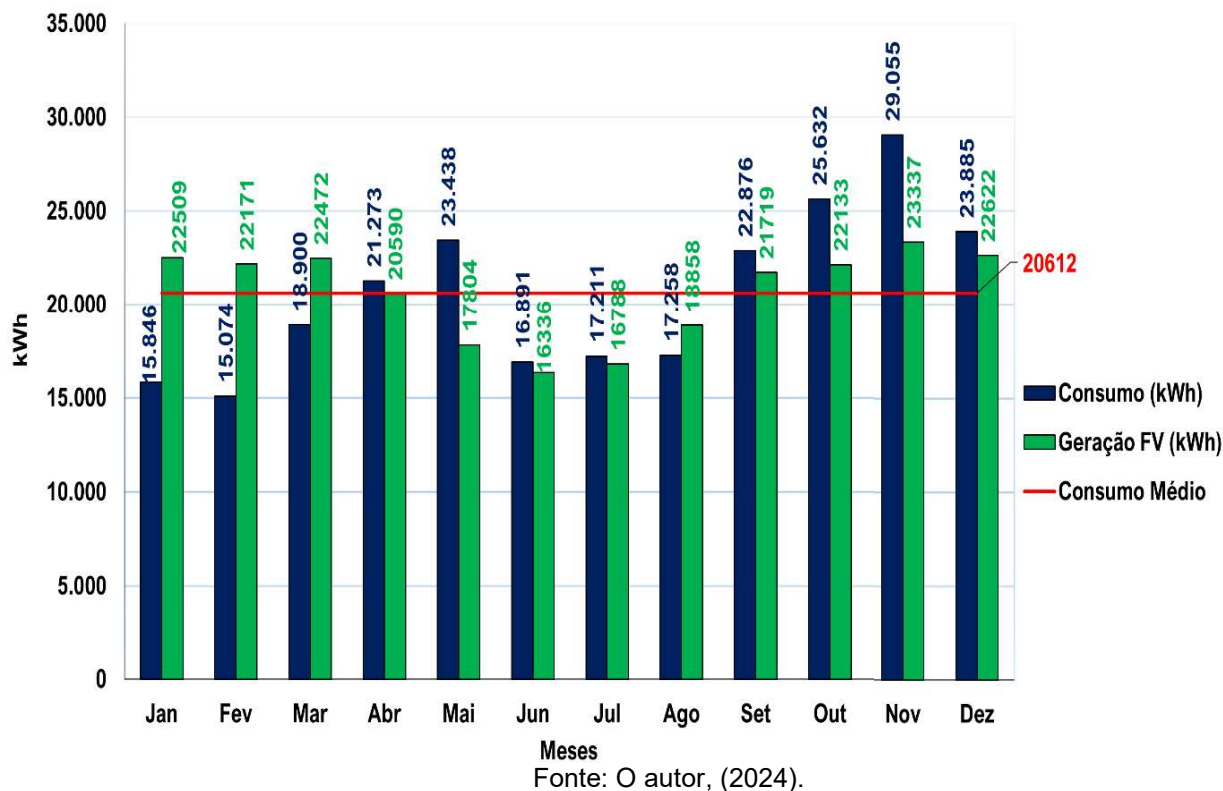
Para isso, utilizou-se como parâmetro de viabilidade o sistema solar da Miniúsina do Campus A.C. Simões (UFAL, 2023b), comparando-o ao sistema solar fotovoltaico projetado para o Campus Sertão, analisando a eficiência fotovoltaica do sistema na região.

Considerando esse contexto, a UFAL Campus Sertão está progredindo em direção à sustentabilidade. Em dezembro de 2023, foram instalados bancos de capacitores no sistema elétrico do Campus para corrigir o fator de potência, atendendo à resolução Normativa Nº 569 da ANEEL, de 23 de julho de 2013. Essa iniciativa visa aumentar o fator de potência em cargas predominantemente indutivas, reduzindo o aquecimento no transformador e nos condutores. Isso evita multas na conta de energia elétrica que excedem o limite permitido pela resolução e contribui positivamente para a redução das emissões de GEE.

Nesse contexto, optou-se por dimensionar um sistema FV que mitigasse em 100% as emissões de GEE em função do consumo de energia elétrica do Campus Sertão em relação ao ano de 2022. Para isso, utilizou-se a Equação 9 na metodologia, juntamente com os dados oriundos do consumo de energia elétrica diário, em conjunto com as informações da média mensal da irradiação solar diária global da região. Assim, calculou-se a potência pico de módulos fotovoltaicos necessária para o sistema solar em função da necessidade de compensação, correspondendo a uma potência geradora de energia FV de 167 kWp.

Em conformidade com esse cenário a geração de energia FV seria responsável por 100% do consumo total do Campus Sertão, conforme pode ser observado na Figura 24 e 25.

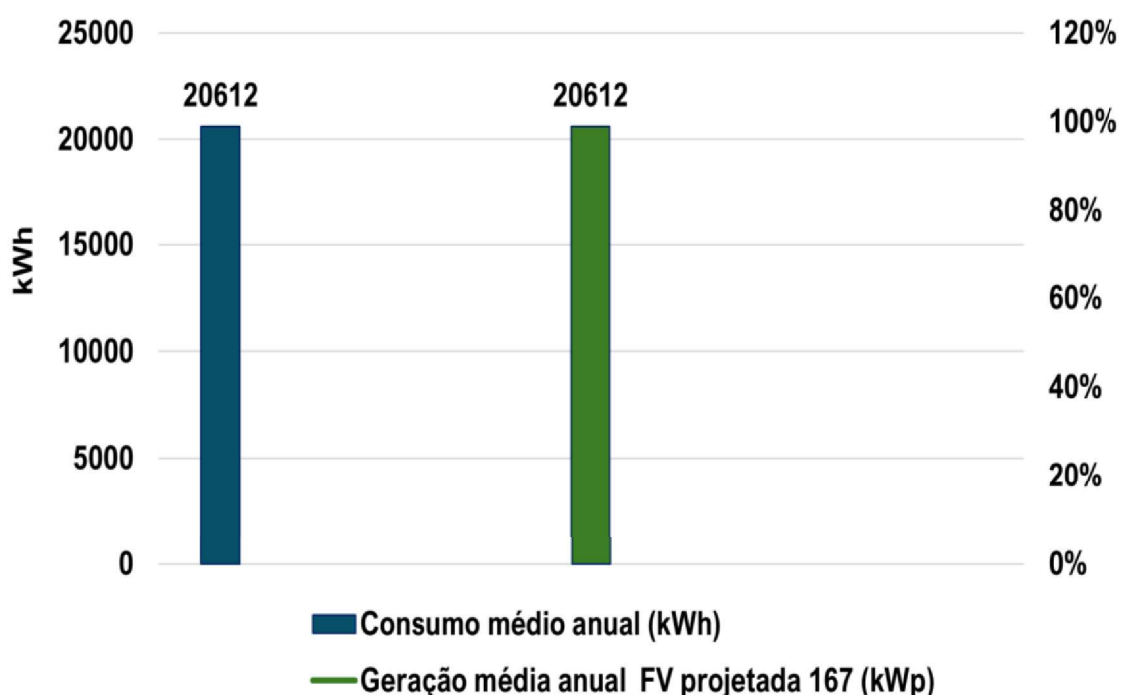
Figura 24 - Consumo anual X Geração anual do sistema FV de 167 (kWp) projetado



Depreende-se da Figura 24 que há uma oscilação na geração do sistema solar FV em comparação ao consumo de energia elétrica, especialmente no período de janeiro a março. Por outro lado, o consumo supera a geração FV nos meses de maio, setembro, outubro, novembro e dezembro. No entanto, vale destacar que os geradores fotovoltaicos operam conectados ao sistema elétrico da concessionária local, permitindo uma dinâmica bidirecional de energia elétrica. Isso possibilita armazenar o excesso de energia em períodos de baixo consumo e resgatá-lo em períodos de insuficiência de geração.

Por essas razões, destaca-se que o sistema FV de 167 kWp projetado atenderá à demanda de consumo de energia elétrica do Campus Sertão, proporcionando grandes benefícios tanto ambientais quanto financeiros, conforme demonstrado também na Figura 25.

Figura 25 - Comparação do consumo médio anual de energia X Geração média anual sistema FV de 167 (kWp)



Fonte: O autor, (2024).

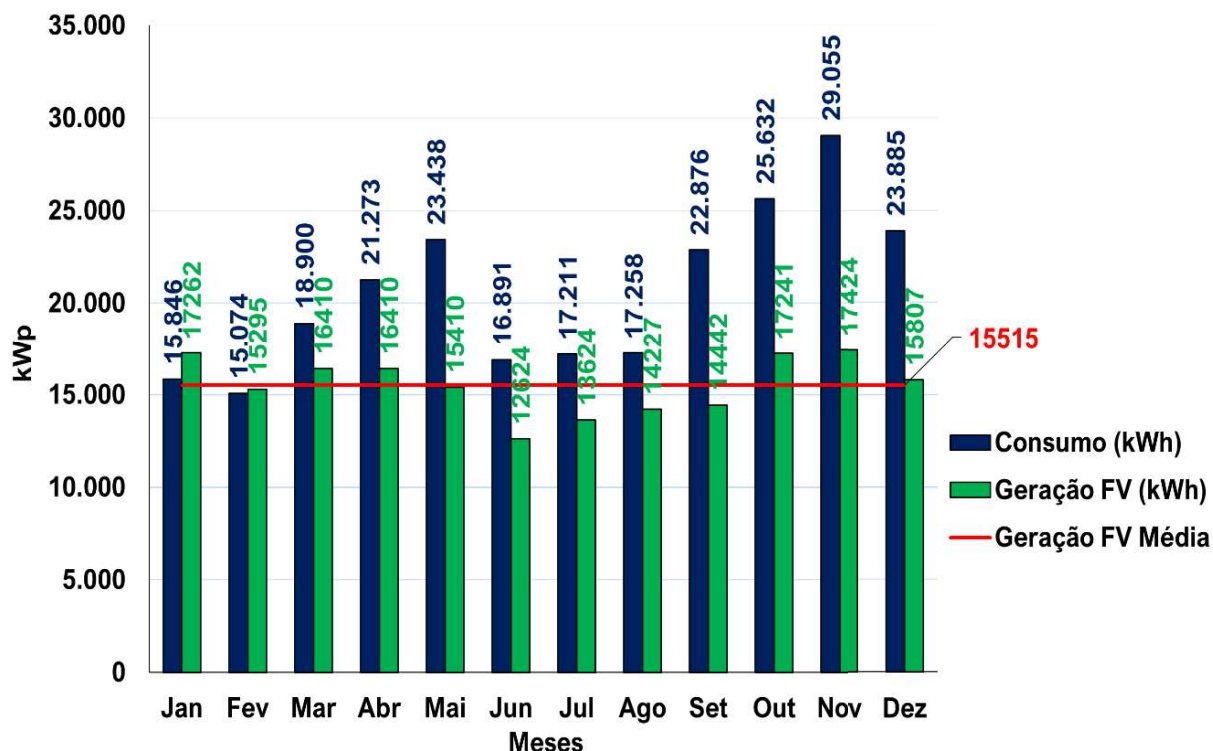
Nesse sentido, a Figura 26 estabelece uma comparação de consumo do Campus Sertão em relação ao sistema de geração FV de 129 (kWp) da Miniusina solar do Campus A.C.Simões.

Assim, verificou-se que o potencial de geração FV da Miniusina alcança uma eficiência média anual de 15515 kWp. Isso representa 78% de compensação de geração de energia FV pela Miniusina em relação ao consumo do Campus Sertão.

Além disso, é importante destacar que a incidência média de irradiação solar no Campus A.C. Simões é inferior à do Campus Sertão, sendo de 5,36 kWh/m² por dia e 5,48 kWh/m² por dia, respectivamente.

Ademais, com base na Equação 9 citada na seção de metodologia, caso a Miniusina tivesse uma potência pico instalada de 171 kWp, seria o suficiente para compensar em 100% o consumo de energia elétrica referente ao ano de 2022.

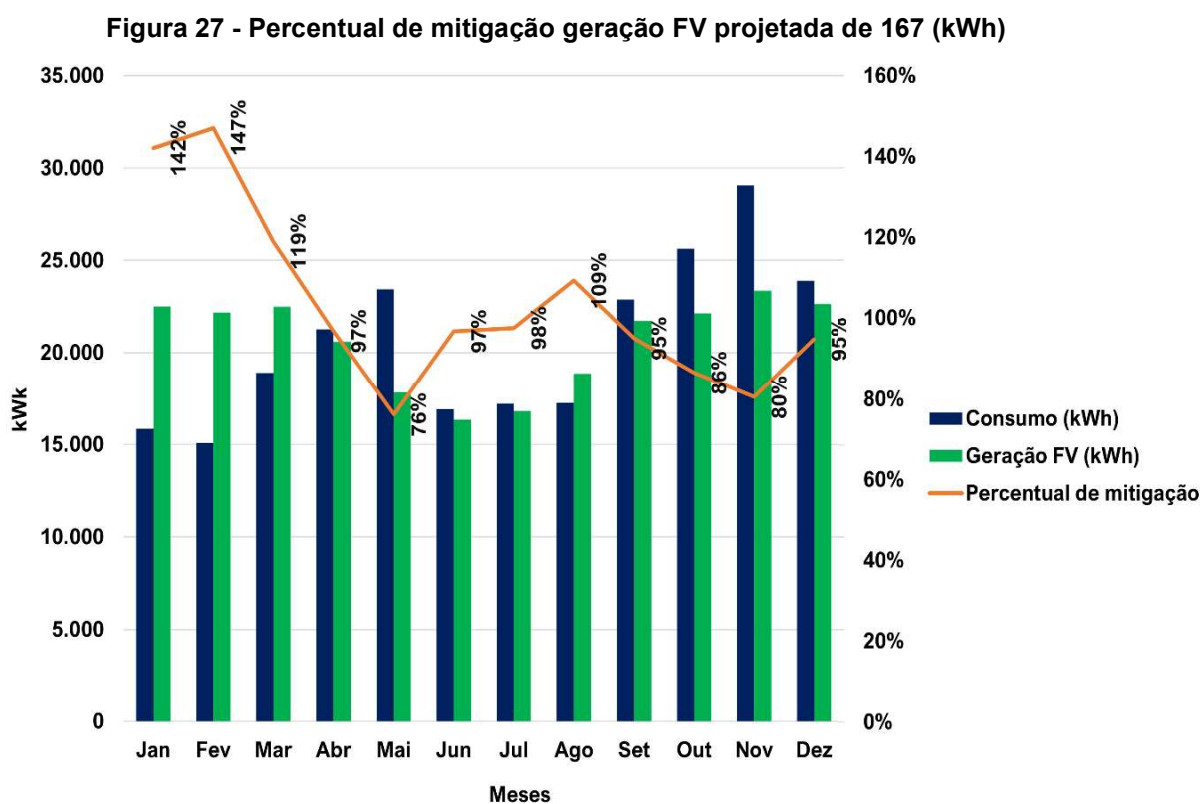
Figura 26 - Consumo Campus Sertão X Geração FV miniusina de 129 (kWp) Campus A.C.Simões



Embora o sistema de geração FV da Miniusina não compense 100% do consumo do Campus Sertão em 2022, verificou-se que a instalação do sistema FV da Miniusina Campus A.C. Simões fosse no Campus Sertão resultaria em um aumento de 2% na geração média anual em comparação com o Campus A.C. Simões. Esse aumento se deve à maior incidência de irradiação solar na região, favorecendo a instalação do sistema solar FV. Além disso, esses 2% equivalem a 3724 kWh/ano.

Considerando esse contexto, a Figura 27 apresenta o percentual de mitigação da geração FV projetado para o Campus do Sertão. Observou-se uma variação no sistema de geração FV, especialmente no período de janeiro a março, superando a geração de energia projetada nesses meses em 42%, 47% e 19%, respectivamente. Por outro lado, apesar da incidência de irradiação solar favorável ao sistema, a geração FV não superou o consumo nos meses de maio, setembro, outubro, novembro e dezembro, apresentando um déficit de 24%, 5%, 14%, 20% e 5%, respectivamente, em relação à geração FV projetada. No entanto, é importante destacar que o potencial de geração média anual FV projetado suprirá a demanda de consumo de energia elétrica do Campus do Sertão.

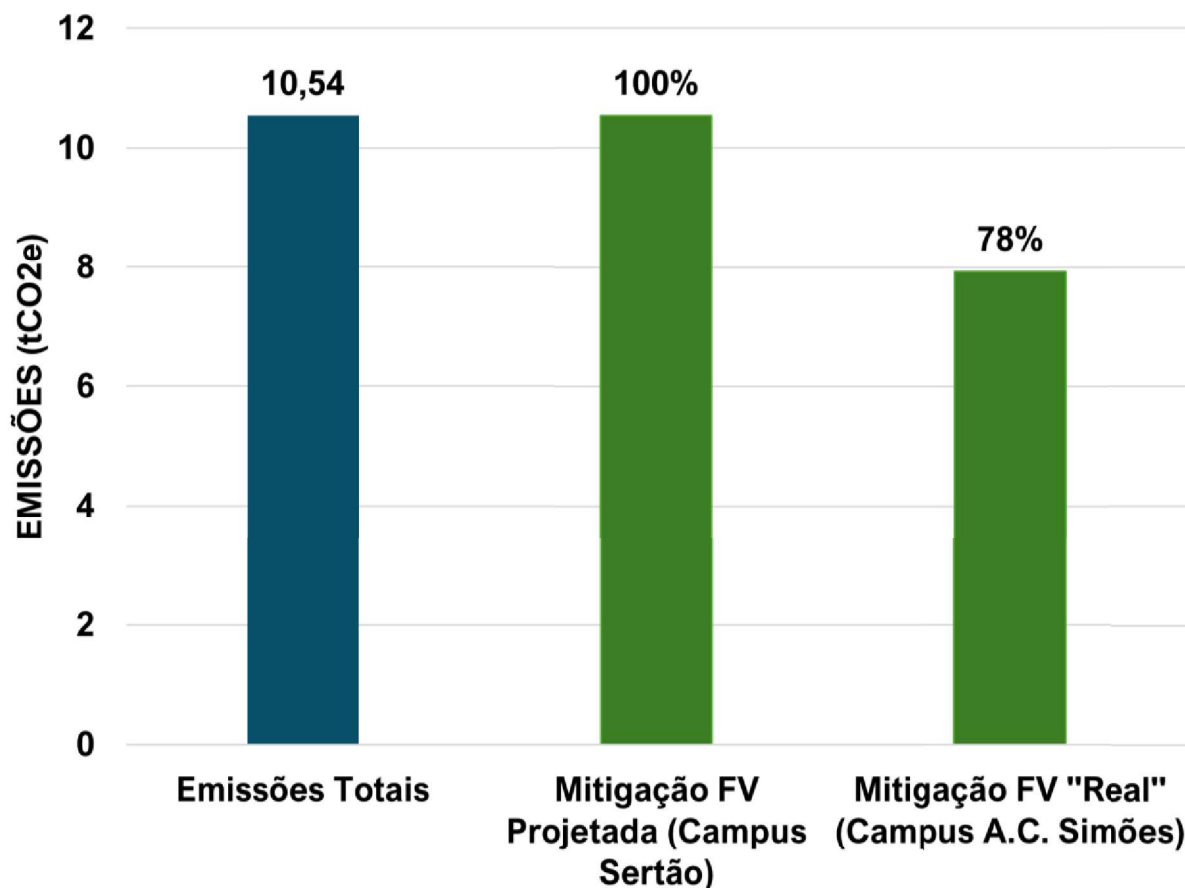
Em se confirmando esse cenário a energia FV será responsável por 100% do consumo total da UFAL Campus Sertão, conforme já demonstrado na Figura 25.



Fonte: O autor, (2024).

Considerando o cenário de geração FV projetada de 167 kWp, é importante destacar que a UFAL Campus Sertão reduzirá suas emissões totais em 10,54 tCO_{2e}, compensando 100% do consumo de energia elétrica do ano de 2022. Além disso, quando comparado ao sistema de geração FV "real" da Miniusina do Campus A.C. Simões, evita-se a emissão de 7,93 tCO_{2e}, o que equivale a 78% da compensação de geração de energia FV pela Miniusina em relação ao consumo do Campus Sertão, conforme demonstrado na Figura 28.

Figura 28 – Estimativa de emissões totais (tCO₂e) X Mitigação FV projetada Campus Sertão em relação ao Sistema FV Mini-usina Campus A.C. Simões



Fonte: O autor, (2024).

Assim, é essencial continuar avançando na direção da sustentabilidade para mitigar as emissões dessa categoria. Aproveitar o clima favorável da região onde a UFAL Campus Sertão está localizada e explorar principalmente a energia solar, bem como outras fontes de energia renovável, é fundamental.

5.6.2 Ferramenta empregada na análise de viabilidade econômica do sistema FV 167 kWp.

O software escolhido para os cálculos e análise dos dados de viabilidade econômica do sistema fotovoltaico de 167 kWp nesta pesquisa científica foi a planilha eletrônica Microsoft Excel 365. Além disso, é importante destacar que essa ferramenta é amplamente adotada por profissionais do setor elétrico para a análise financeira de projetos de energia solar fotovoltaica.

5.6.3 Análise de viabilidade econômica do sistema fotovoltaico de 167 kWp.

A análise de viabilidade econômica é baseada em um sistema de geração solar FV de 167 kWp, em conformidade com a Resolução Normativa ANEEL N° 1.059, de 7 de fevereiro de 2023 que aprimora as regras para a conexão e o faturamento de centrais de microgeração e minigeração distribuída em sistemas de distribuição de energia elétrica, bem como as regras do Sistema de Compensação de Energia Elétrica e a Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022, onde é permitido o uso de fontes de energias renováveis.

Quando a quantidade de energia gerada em determinado mês excede o consumo daquele período, o consumidor acumula créditos que podem ser usados para reduzir a fatura dos meses seguintes. Esses créditos têm um prazo de validade de 60 meses e podem também ser utilizados para abater o consumo de outras unidades consumidoras do mesmo titular, situadas em locais diferentes, desde que estejam na mesma área de atendimento da distribuidora. Esse uso dos créditos é chamado de "autoconsumo remoto" (Cruz *et al.*, 2020).

O Quadro 3 serviu como parâmetro de referência para avaliar a viabilidade econômica ao elaborar o fluxo de caixa com base nos valores disponíveis no mercado local.

Quadro 3 - Referência adotada para avaliação do fluxo de caixa

ELEMENTOS CONSIDERÁVEIS	QUANTIDADE
Potência de Geração FV	167 kWp
Módulos FV Monocristalino	229 de 660Wp
Inversor	SUNGROW SG 110CX 110kWp
Preço da energia elétrica fornecida (R\$/MWh)	R\$ 1,52
Irradiação solar diária da região	5,48 (kWh/m ² /dia)
Taxa de indexação sobre a eletricidade exportada (%)	10%
Tempo de vida útil do sistema FV	25 (vinte e cinco) anos
Área mínima ocupada pelo sistema	712,19m ²
Valor do custo de investimento (R\$)	R\$ 397.750,00
Tempo de retorno	3 anos e 8 meses

Fonte: O autor, (2024).

Para a instalação do sistema FV de 167 kWp, serão necessários 229 módulos de 660 Wp cada, ocupando uma área de 712,19 m², considerando que cada módulo ocupa 2,58 m². A estrutura do sistema FV será instalada no estacionamento da UFAL

Campus Sertão em uma área preestabelecida, beneficiando os veículos dos servidores e toda a comunidade acadêmica do Campus, conforme pode ser observado nas Figuras 29 e 30. Além de promover a sustentabilidade e reduzir as emissões de CO₂, os benefícios financeiros do sistema FV poderão ser aplicados em outras necessidades da UFAL Campus Sertão, como projetos de expansão e educacionais.

Figura 29 – Localização do estacionamento da UFAL Campus Sertão.



Fonte: UFAL Campus Sertão, (2024).

Figura 30 – Imagem ilustrativa do carport com 2 linhas de placas solares para o estacionamento da UFAL Campus Sertão.



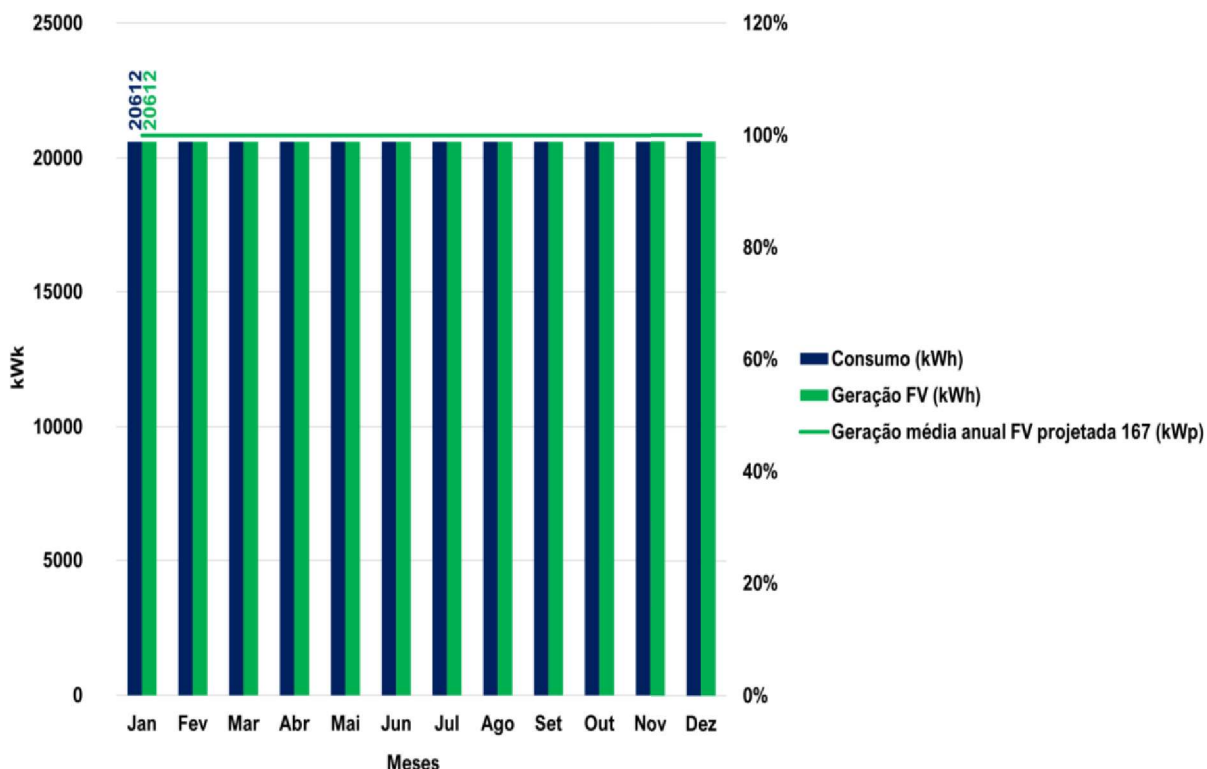
Fonte: O autor, (2024).

Quanto ao descritivo técnico do carport para o estacionamento, o projeto do sistema FV terá estrutura metálica em aço estrutural zar280 com 275 micras de zinco galvanizado a fogo (colunas, traves e travessas) e presilhas de fixação de placas solares em alumínio 6063 t6 para 229 módulos (placas) solares e 61 vagas de garagem de 2.50m. Além disso, toda a montagem do sistema FV será 100% parafusada e base concretada no solo.

O sistema FV produzirá uma média mensal de 20.612 kWh, totalizando 247.339 kWh anualmente. Esse total representa 100% do potencial de geração FV projetado e atenderá completamente à demanda de consumo de energia elétrica da UFAL no Campus do Sertão, que foi de 247.339 kWh no ano de 2022.

Assim, a Figura 31 demonstra o consumo médio anual de energia da UFAL Campus Sertão em relação à geração média anual do sistema FV de 167 (kWp).

Figura 31 - Consumo médio anual de energia X Geração média anual FV de 167 (kWp)



Fonte: O autor, (2024).

Para a análise de viabilidade econômica do sistema FV foi considerado a tecnologia do módulo (placa) solar de referência Monocristalino de 660 Wp para cada módulo e inversor SUNGROW SG 110CX 110kWp.

A estimativa de geração FV considerou o consumo anual da UFAL Campus Sertão, bem como a condição estocástica do recurso solar, considerando a real característica da dinâmica energética do sol. A incidência da irradiação solar da região equivale a uma média de 5,48 (kWh/m²/dia), conforme indicado pelo CRESESB - Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito.

Nesse sentido, o sistema de geração FV é autossustentável, uma vez que os módulos FV têm garantia de fábrica de no mínimo 80% de eficiência, garantia de 12 a 15 anos, dos inversores de 10 anos contra defeitos de fabricação, e 25 anos de geração linear, mas a vida útil pode ir muito além disso.

5.6.4 Viabilidade econômica do sistema FV

A Tabela 21 apresenta o fluxo de caixa cumulativo do investimento para o sistema FV da UFAL Campus Sertão. Verifica-se que o retorno do investimento

acontece após 2 (dois) anos, ou seja, em 3 (três) anos e 8 meses, considerado um tempo de retorno satisfatório, dado que o sistema FV tem 25 anos de geração linear. Além disso, percebe-se que ao final de 4 (quatro) anos, o Campus Sertão economizará aproximadamente R\$ 404.265,55 (quatrocentos e quatro mil, duzentos e sessenta e cinco reais e cinquenta e cinco centavos) e quitado o investimento no sistema FV, que foi de R\$ 397.750,00 (trezentos e noventa e sete mil, setecentos e cinquenta reais).

Dessa forma, já se obtém uma economia considerável em recursos financeiros que seriam destinados ao pagamento de contas de energia elétrica.

Ademais, observa-se que ao final de 10 (dez), 15 (quinze) e 20 (vinte) anos (linha em verde), o sistema FV terá economizado nesse período aproximadamente 2 (dois milhões), 4 (quatro milhões) e 7 (sete milhões de reais), respectivamente.

Outrossim, é que o sistema FV ao final de sua vida útil com 25 (vinte e cinco) anos (linha em verde), terá economizado para UFAL Campus Sertão aproximadamente R\$ 13.435.196,61 (treze milhões). Esses recursos poderão ser aplicados em projetos que promovam a sustentabilidade e reduzam as emissões de CO₂, contribuindo para ações de mitigação de GEE e ajudando a enfrentar os desafios climáticos e ambientais.

Tabela 21 - Fluxo de caixa anual cumulativo do sistema FV

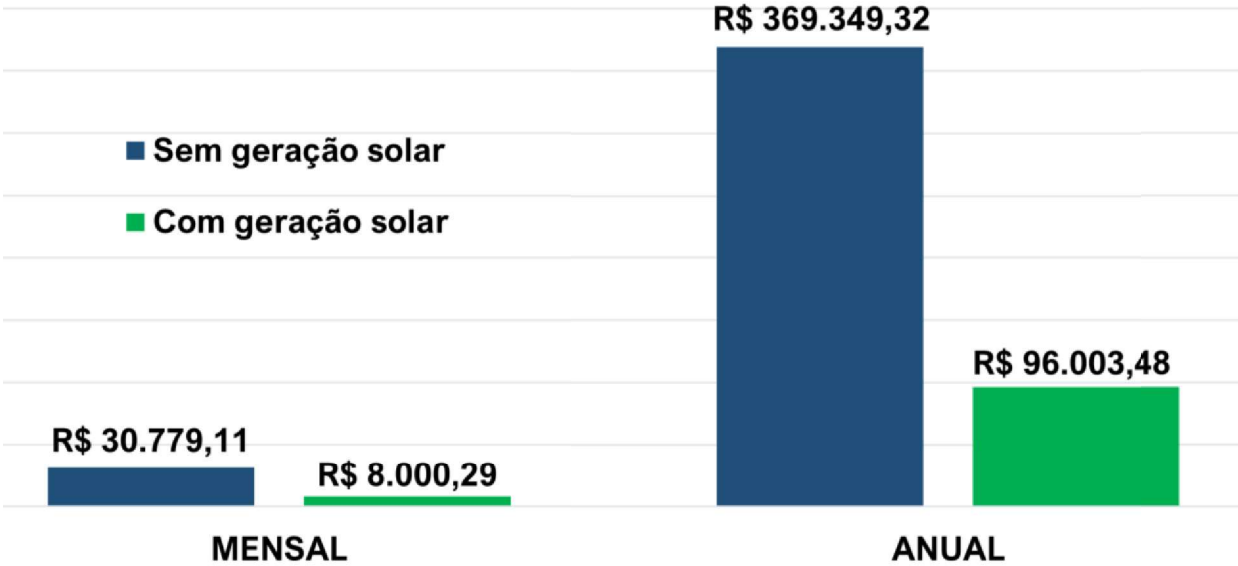
Ano	Lucro/economia	Investimento	Rendimentos
1	-R\$ 212.803,81	R\$ 397.750,00	R\$ 184.946,19
2	-R\$ 18.781,40		R\$ 194.022,40
3	R\$ 186.761,02		R\$ 205.542,42
4	R\$ 404.265,55		R\$ 217.504,54
5	R\$ 634.154,85		R\$ 229.889,29
6	R\$ 876.824,43		R\$ 242.669,58
7	R\$ 1.142.518,10		R\$ 265.693,67
8	R\$ 1.433.417,15		R\$ 290.899,05
9	R\$ 1.744.015,53		R\$ 310.598,38
10	R\$ 2.084.074,82		R\$ 340.059,29
11	R\$ 2.456.385,63		R\$ 372.310,81
12	R\$ 2.864.002,68		R\$ 407.617,05
13	R\$ 3.310.269,79		R\$ 446.267,11
14	R\$ 3.798.847,20		R\$ 488.577,41
15	R\$ 4.333.741,52		R\$ 534.894,32
16	R\$ 4.919.338,48		R\$ 585.596,96
17	R\$ 5.560.438,79		R\$ 641.100,31
18	R\$ 6.262.297,37		R\$ 701.858,58
19	R\$ 7.030.666,35		R\$ 768.368,97

20	R\$ 7.871.842,03	R\$ 841.175,68
21	R\$ 8.792.716,41	R\$ 920.874,38
22	R\$ 9.800.833,47	R\$ 1.008.117,06
23	R\$ 10.904.450,83	R\$ 1.103.617,37
24	R\$ 12.112.607,29	R\$ 1.208.156,45
25	R\$ 13.435.196,61	R\$ 1.322.589,32

Fonte: O autor, (2024).

Nesse sentido, para um melhor entendimento da Tabela 21 as Figuras 32 e 33 demonstram o Payback do investimento (retorno) do valor da conta de energia elétrica mensal e anual “sem geração solar” e “com geração solar” e o lucro/economia ao longo dos 25 anos do sistema de geração FV 167 kWp.

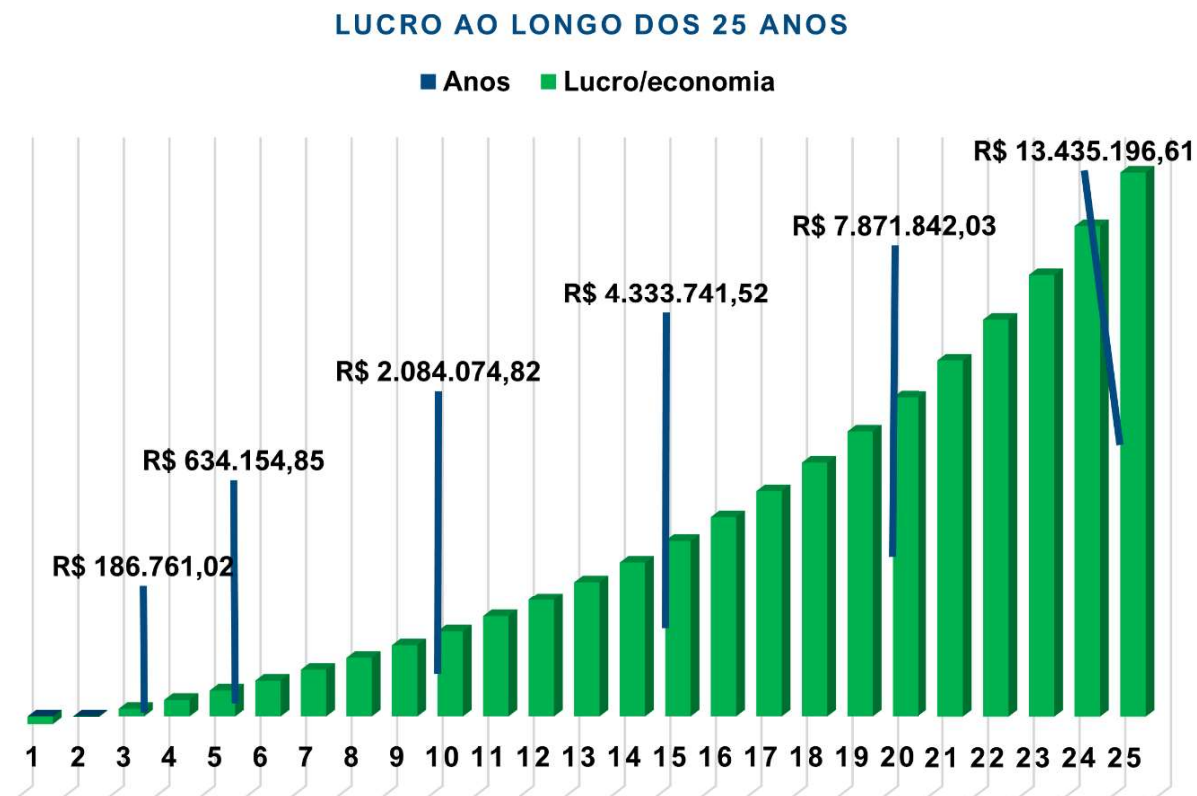
Figura 32 - Payback do investimento do valor da conta de energia elétrica



Fonte: O autor, (2024).

Considerando esse contexto, observa-se na Figura 32 que a economia mensal estimada é de aproximadamente R\$ 8.000,29 (oito mil reais e vinte nove centavos), representando uma redução de 74% na conta de energia elétrica no primeiro ano do novo consumo energético. Esse percentual de economia se mantém quando comparado à estimativa anual.

Figura 33 - Fluxo de caixa anual do investimento lucro/economia nos 25 anos do sistema FV



Fonte: O autor, (2024).

Nesse contexto, a Figura 33 representa o fluxo de caixa acumulado, considerando a inflação média anual de 10%. No primeiro ano, a economia anual estimada é de aproximadamente R\$ 273.345,84 (duzentos e setenta e três mil, trezentos e quarenta e cinco reais e oitenta e quatro centavos). Isso equivale a aproximadamente 69% do valor total do investimento do sistema FV, indicando um retorno significativo do capital investido. Além disso, observa-se também que o tempo de retorno é de aproximadamente 3 (três) anos e 8 meses e após esse período o saldo só será positivo.

5.6.5 Redução das emissões por meio da proposta de Compensação

Em relação à proposta de compensação para as categorias tratamento de efluentes líquidos (fossa séptica), combustão estacionária, emissões fugitivas e viagens aéreas a negócio referente ao ano de 2022, optou-se pelo cálculo da quantidade de mudas de árvores a serem plantadas, visando neutralizar as emissões de CO₂ equivalente. Nessa perspectiva, realizou-se uma estimativa da quantidade de

CO₂ emitido pela UFAL Campus Sertão para determinar a compensação necessária por meio do plantio de espécies nativas, visando absorver o carbono emitido pela instituição, conforme ilustrado na Tabela 22.

Tabela 22 – Número de árvores necessárias para compensação do carbono emitido pela UFAL Campus Sertão.

Ano	Categorias	Emissões totais (tCO₂e)	Nº de árvores
2022	Tratamento de efluentes	10,07	34
	Combustão estacionária	5,29	18
	Emissões fugitivas	24,32	81
	Viagens a negócio aéreas	0,63	2
Total		40,31	135
(tCO₂e) / Nº de árvores total		0,30	

Fonte: O autor, (2024).

Conforme apresentado na Tabela 22, a compensação do carbono emitido pela UFAL Campus Sertão, atribuído às categorias mencionadas, poderá ser alcançada com o plantio de 135 árvores, levando em consideração a estimativa de emissão de GEE dessas categorias. Para a implantação dessas árvores, será necessária uma área de 810m².

No entanto, importa destacar que para a categoria de tratamento de efluentes líquidos (fossa séptica), já existe uma área pré-estabelecida de 10m x 5m (50m²) designada para a implantação de uma Fossa Verde no Campus, conforme pode ser observado na Figura 34.

Figura 34 - Área designada para implantação de uma Fossa Verde no Campus Sertão



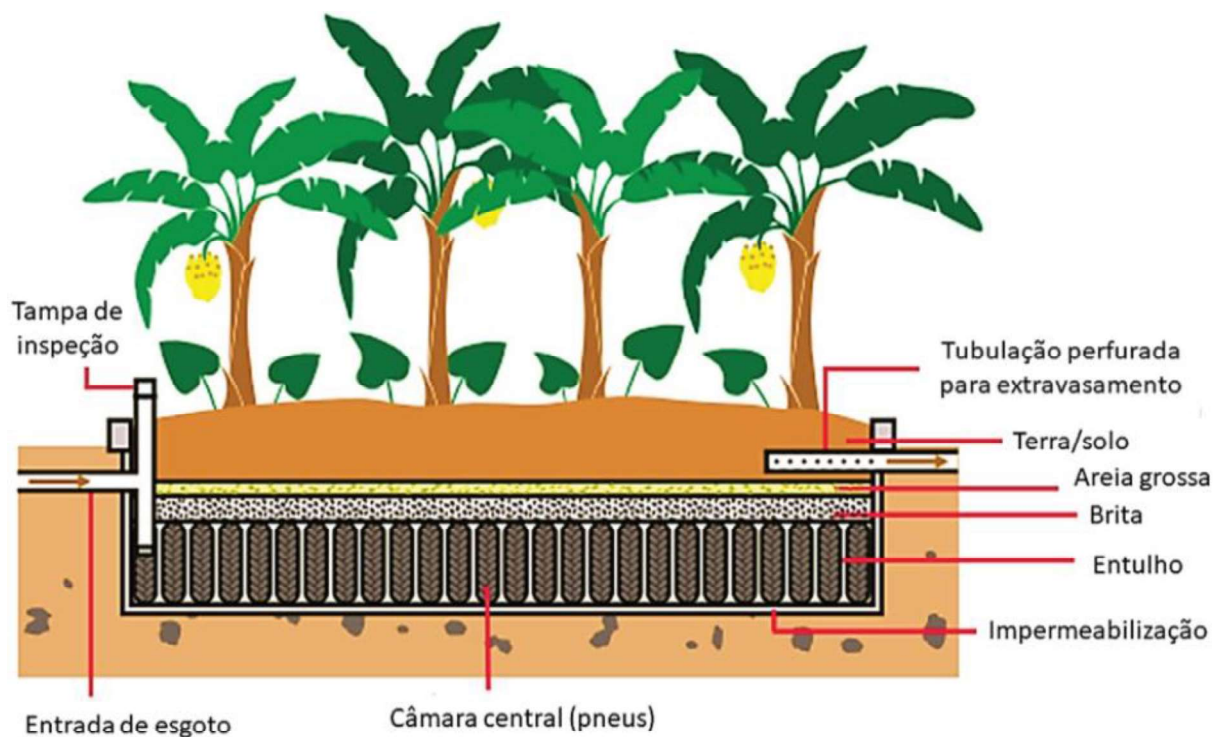
Fonte: UFAL Campus Sertão, (2024).

Nesse sentido, essa medida contribuirá significativamente para a redução das emissões dessa categoria. Portanto, a área prevista para plantio de árvores nativas deve ser ajustada de 810m² para 760m², levando em consideração a área destinada à Fossa Verde, dimensionada pelos alunos da disciplina de ACE 5 em colaboração com o professor Dr. Antônio Netto. A Figura 35 apresenta o esquema ilustrativo da Fossa Verde.

Considerando o contexto e o tamanho da comunidade científica do Campus em 2022, composta por 1.507 pessoas, se cada membro da população acadêmica plantar uma árvore ao longo de um a dois anos, será possível compensar o carbono emitido durante o período inventariado. Além disso, essa iniciativa poderá gerar um crédito de carbono estimado em aproximadamente 412 tCO₂e, resultando de um engajamento ambiental coletivo. Esse esforço contribui de forma significativa para mitigar os efeitos das mudanças climáticas na UFAL Campus Sertão.

Vale destacar que existe uma área de aproximadamente 25 hectares disponível da UFAL Campus Sertão para o plantio dessas espécies nativas.

Figura 35 - Esquema ilustrativo da Fossa Verde.



Fonte: Adaptado de (Amorim et al., 2022)

A Fossa Verde é uma alternativa sustentável para o sistema de tratamento de esgoto da UFAL Campus Sertão. Além disso, contribui positivamente para a redução das emissões de GEE na categoria de tratamento de efluentes.

5.6.6 Iniciativas e estratégias de mitigação de GEE

Considerando as medidas de mitigação já elencadas no plano de redução de emissão de GEE, o quadro 4 apresenta as iniciativas e estratégias de mitigação relacionadas às categorias com o objetivo de atenuar e compensar as emissões decorrentes das atividades da UFAL Campus do Sertão.

Quadro 4 - Iniciativas e estratégias de mitigação relacionadas às categorias do Campus Sertão

Categorias	Iniciativas e Estratégias de Mitigação
Combustão Estacionária	Utilização responsável do Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) no Restaurante Universitário (RU), incluindo o planejamento de manutenções preventivas e corretivas no sistema de tubulação de GLP, bem como nos equipamentos da cozinha industrial. Essas ações visam evitar vazamentos indesejados, contribuindo assim para a redução das emissões de GEE nesta categoria.
Combustão Móvel	Como medidas de mitigação para esta categoria, observou-se que na UFAL Campus Sertão os veículos são abastecidos exclusivamente com combustíveis fósseis, considerados altamente poluentes. Como já mencionado anteriormente, não existe uma cultura de abastecimento dos veículos com combustíveis produzidos a partir de fontes renováveis, como etanol e biodiesel, que possuem um fator de emissão de CO ₂ menor. Nesse sentido, recomenda-se que os abastecimentos da frota oficial do Campus sejam realizados a partir de combustíveis derivados de fontes renováveis. Além disso, é importante visar um planejamento estratégico de substituição gradual da frota por veículos híbridos e elétricos, promovendo a redução das emissões de GEE na instituição. Ademais, é fundamental realizar revisões preventivas e/ou corretivas dos veículos oficiais, evitando gastos indesejáveis relacionados ao consumo e outros fatores preponderantes.
Emissões Fugitivas	Uma maneira de atenuar as emissões de GEE nesta categoria é através da substituição gradual de aparelhos de ar-condicionado ineficientes por modelos mais eficientes, classificados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem - INMETRO. Manter as portas e janelas dos setores fechadas durante o uso do ar-condicionado e ajustar a temperatura dos aparelhos para um nível confortável, geralmente entre 22°C e 24°C, pode ajudar a reduzir o consumo de energia. Além disso, instalar os aparelhos em ambientes sombreados e bem ventilados permite uma melhor troca de calor com o ambiente, contribuindo para uma maior eficiência energética. Outra forma adicional de reduzir as emissões de GEE nesta categoria seria substituir o uso de gases refrigerantes sintéticos, que têm um Potencial de Aquecimento Global (GWP) mais alto, por refrigerantes naturais com GWP igual ou menor a 1.
Resíduos sólidos	Promover uma gestão integrada dos resíduos sólidos na UFAL Campus Sertão é fundamental, o que envolve incentivar a logística reversa, estabelecer pontos de triagem e separação de materiais recicláveis, e explorar o aproveitamento energético dos resíduos gerados no Campus. Melhorar a gestão dos resíduos sólidos pode ser um passo importante para mitigar as emissões de GEE e gerar energia limpa. Por exemplo, os resíduos orgânicos do Restaurante Universitário (RU) podem ser utilizados para produzir biogás e fertilizantes, contribuindo para a economia de recursos e promovendo práticas mais sustentáveis no Campus Sertão.

Tratamento de Efluentes	Desenvolver projetos para aproveitar o metano recuperado durante o processo de tratamento de esgoto é uma maneira eficaz de gerar energia limpa. Adicionalmente, é fundamental elaborar projetos que englobem o aproveitamento e a reutilização da água da chuva, com o intuito de diminuir os custos relacionados ao consumo de água em descargas de vasos sanitários, atividades de jardinagem e limpeza no Campus. Nesse contexto, é relevante ressaltar ainda o aproveitamento e reuso da água condensada pelos aparelhos de ar-condicionado por meio de projetos, visando reduzir os gastos com água e empregar o efluente na irrigação da vegetação em áreas específicas do campus. Esse aproveitamento se torna ainda mais importante em regiões com baixos índices de precipitação, como é o caso do estudo realizado.
Consumo de Energia elétrica	Treinamento dos servidores para realizar compras públicas sustentáveis, priorizando produtos com menor consumo de energia elétrica, em conformidade com os princípios estabelecidos na Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudanças Climáticas (PNMC) e estabelece outras diretrizes (art. 11º, parágrafo único). Implementar sensores de presença nas lâmpadas dos setores administrativos e acadêmicos para reduzir o consumo de energia elétrica no Campus, desligando as luzes quando não houver ninguém presente. Desenvolver projetos de iluminação para os edifícios existentes e em expansão, priorizando o uso da iluminação natural para reduzir o consumo de energia elétrica e melhorar o conforto visual. Além disso, explorar outras medidas e soluções que se alinhem às sugestões apresentadas aqui no plano de redução de emissão de GEE.
Viagens a Negócio Aéreas	A UFAL Campus Sertão já está adotando o caminho da sustentabilidade e, sempre que viável, promove capacitações e reuniões com os servidores técnicos administrativos e docentes por meio de videochamadas. Isso evita viagens aéreas e terrestres, contribuindo não apenas para a redução das emissões de GEE, mas também para a otimização dos recursos humanos e financeiros. Essa prática permite economizar recursos para serem aplicados em outras necessidades da Campus Sertão.
Deslocamento de Servidores e alunos (casa-trabalho)	Para mitigar as emissões de GEE nessa categoria, propõe-se investir no sistema de transporte coletivo para o Campus, adotando veículos menos poluentes, como os movidos a combustíveis renováveis ou eletricidade. Nesta perspectiva, de acordo com Cruz (2020), vale destacar que a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) desenvolve um projeto do ônibus elétrico (e-Bus), movido 100% a energia solar, que está em funcionamento desde o ano de 2016 (UFSC, 2019). O transporte está disponível à população para deslocamento do trajeto entre o Campus daquela instituição e o Sapiens Parque e já rodou quase 100 mil quilômetros, sendo mantido através de

	financiamento coletivo para captação de recursos e patrocínios (UFSC, 2019). Nesse contexto, a UFAL Campus Sertão poderia estabelecer uma parceria com a UFSC para implementar o uso do e-Bus, atendendo à demanda por transporte público não apenas dos alunos, mas também dos servidores técnicos administrativos e docentes que se deslocam até a universidade. Além disso, o Campus Sertão pode promover a carona solidária incentivada entre os servidores, além da implantação do trabalho remoto como alternativas adicionais para reduzir as emissões de GEE relacionadas aos deslocamentos.
--	--

Fonte: O autor, (2024).

Dentro do contexto de mitigação das emissões de GEE, a estimativa de uma redução de 100% das emissões poderá ser alcançada com a execução do próximo inventário, juntamente com a implementação das medidas e ações propostas nesta pesquisa. Isso envolverá a alta administração, as partes interessadas e toda a comunidade acadêmica do Campus Sertão.

Com base na proposta de mitigação e nas iniciativas estratégicas mencionadas e sua aplicação, é possível reduzir aproximadamente 53,83 tCO₂e, o que representa 68,03% do total emitido. Esse percentual de redução de emissão refere-se aos escopos 1 e 2, nas categorias combustão móvel (substituição da gasolina e óleo diesel por etanol e biodiesel) e consumo de energia elétrica, respectivamente. Quanto à proposta de compensação por reflorestamento nas categorias tratamento de efluentes líquidos (fossa séptica), combustão estacionária, emissões fugitivas e viagens aéreas a negócio, optou-se pelo cálculo da quantidade de árvores nativas a serem plantadas, visando neutralizar ou absorver CO₂ emitido pela UFAL Campus Sertão.

A Tabela 23 apresenta a estimativa de redução das emissões de GEE atuais no Campus Sertão por meio das propostas de mitigação e compensação, além do percentual de redução considerando as propostas deste trabalho.

Tabela 23 – Estimativa de redução das emissões de GEE no Campus Sertão através das propostas de mitigação e compensação				
Escopo	Categorias	Emissões totais (tCO ₂ e) - atual	Emissões totais (tCO ₂ e) após a proposta de Mitigação e Compensação	Percentual de redução das emissões de GEE (%)

1	Combustão Estacionária	5,29	Compensação por Reflorestamento (18 árvores)	100%
	Combustão Móvel	28,27	17,36	38,59%
	Emissões Fugitivas	24,32	Compensação por Reflorestamento (81 árvores)	100%
	Tratamento de Efluentes	10,07	Compensação por Reflorestamento (34 árvores)	100%
2	Consumo de Energia Elétrica	10,54	7,93	100% FV projetada; 78% FV Miniúsina
3	Viagens a Negócio Aéreas	0,63	Compensação por Reflorestamento (2 árvores)	100%
Total		79,12	25,29	68,03%

Fonte: O autor, (2024).

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS

O estudo de caso na UFAL Campus Sertão, em Delmiro Gouveia, perante tudo o que foi exposto, conseguiu alcançar seu objetivo por meio da elaboração dos inventários de emissão de GEE da série histórica de 2018, 2020 e 2022, juntamente com o plano de redução das emissões de GEE descrito nesta pesquisa.

As emissões estimadas da UFAL Campus Sertão da série histórica tiveram uma média aritmética de 83,84 tCO₂e no triênio. As emissões diretas da IES representaram uma média de 64,33 tCO₂e, enquanto as emissões indiretas foram de 19,51 tCO₂e.

A elaboração do inventário de emissões de GEE revelou que as principais fontes de emissões do Campus Sertão foram dos escopos 1 e 2, nas categorias de combustão móvel, que apresentaram uma média aritmética de aproximadamente 44,58 tCO₂e, e consumo de energia elétrica, com uma média aritmética de 18,08 tCO₂e para o triênio. Estas representaram, respectivamente, 69,30% do total das emissões diretas e 21,56% do total das emissões indiretas da IES.

Um outro dado importante que vale destacar foi a estimativa de emissões em toneladas de CO₂ equivalente no período inventariado em relação ao ano de 2020. Verificou-se que a Pandemia do Covid-19 trouxe um impacto significativo nas emissões de GEE na UFAL Campus Sertão, representando 86% (-129,38 tCO₂e) de redução das emissões totais de 2018 a 2020. Por outro lado, as emissões totais de GEE aumentaram 268% (57,61 tCO₂e) em relação ao ano anterior ao comparar os anos de 2020 e 2022.

Este estudo apresentou um plano de redução das emissões de GEE da UFAL Campus Sertão por meio das propostas de mitigação e compensação das emissões, que resultaram na redução de suas emissões em até 68,03% do total emitido. Esse percentual de redução está associado aos escopos 1 e 2, nas categorias combustão móvel (após avaliar o impacto direto da opção por biocombustíveis na frota oficial do Campus Sertão), saindo de 28,27 tCO₂e para 17,36 tCO₂e, representando 38,59% de redução das emissões diretas do Campus Sertão.

Para o escopo 2, consumo de energia elétrica, que registrou emissões totais em 10,54 tCO₂e, conseguiu-se demonstrar uma estimativa de redução das emissões de GEE em 100% do consumo, através de um dimensionamento de um sistema FV projetado de 167 (kWp), juntamente com uma análise de viabilidade econômica, além disso, comparou-se o consumo de energia elétrica do Campus Sertão em relação ao sistema de geração FV “real” de 129 (kWp) pela Mini-usina solar do Campus A.C.Simões. Essa comparação evitou a emissão de 7,93 tCO₂e, o que representa 78% de mitigação pela geração de energia FV pela Mini-usina em relação ao consumo do Campus Sertão.

A análise da implantação do sistema de geração FV de 167 (kWp) no Campus Sertão demonstrou a viabilidade e os benefícios significativos, resultando em uma economia substancial nos custos de energia e contribuindo para a sustentabilidade ambiental. O estudo mostrou que, além de compensar integralmente o consumo de energia elétrica, o sistema FV proporcionará uma economia acumulada de aproximadamente R\$ 13.435.196,61 ao longo de 25 anos, o que pode ser reinvestido em outras áreas da instituição. O tempo de retorno do investimento é de aproximadamente 3 anos e 8 meses, o que reforça a atratividade econômica do projeto.

É importante ressaltar, que nesta pesquisa não foi possível estimar as emissões de GEE geradas por resíduos sólidos, pois o Campus Sertão não dispõe

dos dados necessários para tal. Ademais, também não foi possível estimar as emissões relativas ao deslocamento casa-trabalho de servidores e terceirizados, já que esses dados pessoais exigiriam revisão e aprovação pelo comitê de ética da instituição, o que demandaria um tempo considerável para obtenção e análise dessas informações. Constituindo-se dessa forma as limitações deste trabalho.

Este estudo proporcionou um panorama geral das principais fontes de emissão de GEE nas atividades da UFAL Campus Sertão, bem como detalhou o plano de redução das emissões de GEE. Nesse sentido, como resposta à necessidade de reduzir as emissões de GEE, o Campus Sertão ingressa no time das IES que quantificaram suas emissões, promovendo estratégias e ações de desenvolvimento sustentável, como instituição comprometida com o ensino, pesquisa e serviços comunitários. Com um compromisso contínuo com a sustentabilidade, a UFAL Campus Sertão pode desempenhar um papel importante na luta contra as mudanças climáticas e na construção de um futuro mais sustentável e resiliente.

Recomenda-se, explorar a possibilidade de ampliar a capacidade do sistema FV para atender não apenas o Campus Sertão, mas também outros campi da UFAL, aumentando assim os benefícios econômicos e ambientais, além de implementar um plano de manutenção regular para o sistema FV, garantindo a máxima eficiência e prolongando a vida útil do sistema solar.

Aconselha-se também, que a UFAL Campus Sertão promova programas de educação e conscientização sobre a importância da energia renovável e a sustentabilidade entre os estudantes e a comunidade acadêmica, incentivando práticas ambientalmente responsáveis. Adicionalmente, é importante estabelecer um sistema de monitoramento contínuo das emissões de GEE, permitindo avaliar o progresso das medidas adotadas e identificar oportunidades adicionais de redução.

Ademais, sugere-se como trabalho futuro expandir este estudo para os demais campi da UFAL, bem como outras IES públicas e privadas, contemplando todas as categorias. Em especial, a categoria de resíduos sólidos e deslocamento de pessoas casa-trabalho, que não foram abordadas nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas – **ABNT. NBR ISO 13969:1997, Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final de efluentes líquidos - Projeto, construção e operação.** 1 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997. 60 p.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR ISO 14064-1:2022. Gases de efeito estufa – Parte 1: Especificação com orientação no nível da organização para quantificação e notificação de emissões e remoções de gases de efeito estufa.** 2 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2022. 53 p.

ADENLE, Y. A.; ALSHUWAIKHAT, H. M. **Spatial estimation and visualization of CO2 emissions for campus sustainability: The case of King Abdullah University of Science and Technology (KAUST), Saudi Arabia.** Sustainability (Switzerland), v. 9, n. 11, 17 nov. 2017.

ÁVILA, Renata Oliveira de. **Avaliação do desempenho de sistemas tanque séptico filtro anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte.** 2005. 166 f. Tese (Mestrado em ciências em engenharia civil) - Curso de mestrado em Engenharia Civil. UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

AZEVEDO, M. F. C.; QUINTINO, I. **Manual Técnico:** um programa de compensação ambiental que neutraliza emissões de carbono através de projetos socioambientais de plantio de mudas nativas. [S. l.]: Ed. Ambiental Company, 2010. Disponível em: <https://docplayer.com.br/24826066-Um-programa-de-compensacao-ambiental-que-neutraliza-emissoes-de-carbono-atraves-de-projetos-socioambientais-de-plantio-de-mudas-nativas.html>. Acesso em: 25 mar. 2024.

BARRETTO, R.; CAMPUS, J. **Programa Brasileiro GHG Protocol. Guia para a elaboração de inventários corporativos de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE).** [s.l.: s.n.]. 2023.

BOLETA, P.; POZZA, S. A. **Inventário de gases de efeito estufa no campus 1 da Unicamp em Limeira, sp.** [s.l.: s.n.]. 2016.

BRASIL – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Fator de Emissão da Energia.** Brasília, MCTI, 2023. Disponível em: https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_de_spacho.html. Acesso em: 5 dez 2023.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. **Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMS e dá outras providências.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. 2009. 29p.

BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022.** Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Brasil. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm. Acesso em 22 mar. 2024.

BRASIL. Resolução nº 3, de 20 de março de 2023, do Conselho Nacional de Política Energética - CNPE. Altera a Resolução CNPE nº 16, de 29 de outubro de 2018, que dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 29 mar. 2023.

BRIANEZI, D.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; GONÇALVES, W.; ROCHA, S. J. S. S. da. **Balanço de emissões e remoções de gases de Efeito Estufa no campus da Universidade Federal de Viçosa.** Revista Floresta Ambiental, v. 21, n. 2, p. 182-191, 2014. <https://doi.org/10.4322/floram.2014.017>. Acesso em: 25 mar. 2024.

Caldeira, Rafael da Silva. **Proposta de plano de mitigação das emissões de gases de efeito estufa na indústria gráfica.** 2020 172f. Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Campus Sertão. Foto. **Entrada do Campus Sertão** – UFAL, 2024^a.

Campus Sertão. Foto. **Entrada à unidade administrativa e educacional Campus Sertão** – UFAL, 2024^b.

Campus Sertão. Foto. **Área externa do Campus Sertão** – UFAL, 2024^c.

Campus Sertão. Foto. **Restaurante Universitário (RU) Campus Sertão** – UFAL, 2024^d.

CAMPUS, A. E. M. DE; HUET, D. S.; GARCIA, M. F. P. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa da Sede da CETESB referente aos anos de 2019, 2020 e 2021.** 2023.

CARVALHO, J. P. A. F. DE; VAN ELK, A. G. H. P.; ROMANEL, C. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa no campus gávea da PUC-Rio.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, n. 3, p. 591–595, 1 maio 2017.

CLIMATEWATCH. **Emissões históricas de gases de efeito estufa, Brasil.** 2020. Disponível em: <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2020&source=Climate%20Watch&start_year=2019>. Acesso em: 13 fev. 2024.

COP28. **Governo celebra resultados da COP 28 nos Emirados Árabes.** 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/planalto/pt-br/acompanhe-o-planalto/noticias/2023/12/governo-celebra-resultados-da-cop-28-nos-emirados-arabes>. Acesso em: 13 fev. 2024.

CQNUNC, Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre as Alterações Climáticas. **Emissões de gases de efeito estufa por país e setor. Parlamento Europeu.** 2023. Disponível em: <http://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20180301STO98928/emissoes-degases-com-efeito-de-estufa-por-pais-e-setor-infografia>>. Acesso em: 13 fev. 2024.

CRESESB - Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. **Potencial energético solar.** Rio de Janeiro - RJ. Disponível em: <https://cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em 7 de abril de 2024.

Dias, F et al. **Análise bibliométrica da produção científica sobre créditos de carbono (2012-2021).** Revista de Gestão Social e Ambiental, v.17.n.1 | p.1-18 | e03101 | 2023.

DIÓGENES, J. S. T. **Inventários de emissões de gases de efeito estufa referentes aos anos de 2019 e 2020 da universidade tecnológica federal do paraná - campus campo mourão.** [s.l: s.n.]. 2021.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **O bioma Caatinga. 2024.** Disponível em: < <https://www.embrapa.br/bioma-caatinga/a-caatinga>>. Acesso em: 11 jul. 2024.

CRUZ, Ulysses de Brito Cruz. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa e estratégias de mitigação em instituições de ensino superior: o caso da Universidade Federal de Sergipe.** 265 p. il. 2020. Tese (Doutorado) – Escola de Administração, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2020.

FILIMONAU, V. et al. **The carbon footprint of a UK University during the COVID-19 lockdown.** Science of the Total Environment, v. 756, 20 fev. 2021.

GOMES, Elane Pereira. **Estimativa de emissão de gases de efeito estufa como subsídio a gestão da companhia de saneamento de alagoas - casal.** 86 f. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Campus Marechal Deodoro, Instituto Federal de Alagoas, Marechal Deodoro, 2020.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories,** 2019, v 5. Disponível em: <https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol5.html>>. Acesso em: 4 dez. 2023.

Jornal da USP – Universidade de São Paulo. **“Série Energia”: Mais de 80% da matriz energética vêm de recursos fósseis. 2022.** Disponível em: <https://jornal.usp.br/campus-ribeirao-preto/serie-energia-mais-de-80-da-matriz-energetica-vem-de-recursos-fosseis/>. Acesso em: 24 abr. 2024.

JÚNIOR, J. C. DA S. et al. **Inventário das emissões de gases de efeito estufa em uma companhia de saneamento**. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica, v. 15, n. 2, p. 530, 6 ago. 2022.

KABIT, M. R.; SIONG, J. T. L.; YASSIN, A. Towards Campus sustainability: **Estimating on-campus Vehicle co2 emissions in Unimas**. Journal of Sustainability Science and Management, v. 17, n. 6, p. 193–206, 1 jun. 2022.

KIEHLE, J. et al. **Carbon footprint at institutions of higher education: The case of the University of Oulu**. Journal of Environmental Management, v. 329, 1 mar. 2023.

KLEIN-BANAI, C.; THEIS, T. L. **Quantitative analysis of factors affecting greenhouse gas emissions at institutions of higher education**. Journal of Cleaner Production. Anais...Elsevier Ltd, 2013.

MENDOZA-FLORES, R.; QUINTERO-RAMÍREZ, R.; ORTIZ, I. **The carbon footprint of a public university campus in Mexico City**. Carbon Management, v. 10, n. 5, p. 501–511, 3 set. 2019.

Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília/DF. 2021. Capítulo 2. ISBN: 978-65-87432-18-2, Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1129471/inventario-nacionalde-emissoes-e-remocoes-antropicas-de-gases-de-efeito-estufa>>. Acesso em: 26 jul. 2023.

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Ações de mitigação e adaptação à mudança do clima no Brasil podem impedir o agravamento de desigualdades que tornam parte da população mais vulnerável aos eventos extremos**. Justiça climática. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/mudanca-do-clima/justica>>. Acesso em: 14 fev. 2024.

MUNDIAL, G. B. América Latina e Caribe. **Relatório sobre clima e desenvolvimento para o país**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <www.worldbank.org>. Acesso em: 19 set. 2023.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Ações urgentes contra mudança climática são necessárias para garantir um futuro habitável, alerta IPCC**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/224004-a%C3%A7%C3%B5es-urgentes-contramudan%C3%A7a-clim%C3%A1tica-s%C3%A3o-necess%C3%A1rias-para-garantir-um-futuro-habit%C3%A1vel>>. Acesso em: 19 jul. 2023.

Nota técnica: **Diretrizes para a contabilização de emissões de Escopo 2 em inventários organizacionais de gases de efeito estufa no âmbito do Programa Brasileiro GHG Protocol**. Versão 4.0. 2023. Disponível em: <<https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/2a3c2a1b-af66-40b3-a465-d16fda8e6e05/content>>. Acesso em 1 mar 2024.

O Baixo São Francisco [recurso eletrônico]: características ambientais e sociais / Emerson Carlos Soares, José Vieira Silva, Themis Jesus Silva, organizadores.

Capítulo 22 - Fossas agroecológicas para o tratamento de efluentes sanitários em escolas municipais do baixo São Francisco – Maceió, AL: EDUFAL; 2022. v.2 (483 p.: il. Disponível em: https://www.edufal.com.br/wp-content/uploads/woocommerce_uploads/2022/08/BAIXO-SAO-FRANCISCO-VOL-2_EBOOK_OFICIAL-18.08.22-msbrx0.pdf. Acesso em: 04 abril. 2024.

OLIVEIRA, L. H. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede de energia elétrica**. 2018. 63p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

Relatório Técnico da disciplina ACE 5. 2022.1. Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Alagoas Campus do Sertão. **Dimensionamento de uma fossa verde para a UFAL Campus do Sertão**. Delmiro Gouveia – AL. 2022.

Resolução Normativa ANEEL Nº 1.059, de 7 de fevereiro de 2023. **Aprimora as regras para a conexão e o faturamento de centrais de microgeração e minigeração distribuída em sistemas de distribuição de energia elétrica, bem como as regras do Sistema de Compensação de Energia Elétrica**; altera as Resoluções Normativas nº 920, de 23 de fevereiro de 2021, 956, de 7 de dezembro de 2021, 1.000, de 7 de dezembro de 2021, e dá outras providências. 2023. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.pdf>. Acesso em: 18 mai. de 2024.

RIBEIRO, A. A.; GUIMARÃES, C. S. **Estimation of greenhouse gas emissions in civil construction for a modular construction on the campus of the Federal University of Rio de Janeiro, Brazil**. Journal of Physics: Conference Series. **Anais...**IOP Publishing Ltd, 9 jun. 2021.

SEEG, Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa. **Estimativa de emissões de gases de efeito estufa do Estado de Alagoas**. Observatório do Clima, 2022.

SEEG, Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa. **Ranking das estimativas de emissões no Brasil por biomas**. Observatório do Clima, 2022.

SILVA, L. S.; MARTINAZZO, A. P.; FREITAS, W. K.; COSTA, K. A.; AVILA, N. V. V. **Avaliação da Pegada Ecológica de uma Instituição de Ensino Superior: RECIMA21** -Revista Científica Multidisciplinar ISSN 2675-6218. v.3, n.5,2022. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/1393/1073>. Acesso em: 26 mar. 2024.

SUN, L. et al. **COVID-19 impact on an academic Institution's greenhouse gas inventory: The case of Cornell University**. Journal of Cleaner Production, v. 363, 20 ago. 2022.

UFAL - UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS. **Campus do Sertão - Histórico.** 2023a Disponível em: <<https://campusdosertao.ufal.br/institucional/historico>>. Acesso em: 3 ago. 2023.

UFAL - UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS. **Miniusina solar da Ufal inicia geração de energia no Campus Maceió** 2023b. Disponível em: <<https://ufal.br/ufal/noticias/2023/6/miniusina-solar-da-ufal-inicia-geracao-de-energia-conectada-a-rede-eletrica-da-equatorial-alagoas>>. Acesso em: 22 mar. 2024.

UN ENVIRONMENT PROGRAMME. **Sexto Relatório de Avaliação do IPCC: Mudança Climática 2022.** Disponível em: <<https://www.unep.org/pt-br/resources/relatorios/sexta-relatorio-de-avaliacao-do-ipcc-mudanca-climatica-2022>>. Acesso em: 6 ago. 2023a.

UN ENVIRONMENT PROGRAMME. **Você sabe como os gases de efeito estufa aquecem o planeta?** Disponível em: <<https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/voce-sabe-como-os-gases-de-efeito-estufa-aquecem-o-planeta>>. Acesso em: 19 jul. 2023b.

VALLS-VAL, K.; BOVEA, M. D. **Carbon footprint in Higher Education Institutions: a literature review and prospects for future research. Clean Technologies and Environmental Policy** Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, , 1 nov. 2021.

VARGAS, F. G.-F. **Programa Brasileiro GHG Protocol. Ferramenta de Cálculo do PBGHG 2023.0.3.** Disponível em: <<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd28GUG1Kc8wXj8JNRAFhMRh32r24Wome4RBuEdsnEb3OLB0Q/viewform>>. Acesso em: 6 ago. 2023.

VARÓN-HOYOS, M.; OSORIO-TEJADA, J.; MORALES-PINZÓN, T. **Carbon footprint of a university campus from Colombia.** Carbon Management, v. 12, n. 1, p. 93–107, 2021.

VÁSQUEZ, 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, 1 dez. 2015.

WRI BRASIL. **10 conclusões do Relatório do IPCC sobre Mudanças Climáticas de 2023.** Disponível em: <<https://www.wribrasil.org.br/noticias/10-conclusoes-do-relatorio-do-ipcc-sobre-mudancas-climaticas-de-2023>>. Acesso em: 3 jul. 2023b.

WRI BRASIL. **6 conclusões do relatório do IPCC de 2022 sobre mitigação das mudanças climáticas.** Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/6-conclusoes-do-relatorio-do-ipcc-de-2022-sobre-mitigacao-das-mudancas-climaticas?gclid=CjwKCAjwwb6lBhBJEiwAbuVUSkyCFTCuaRa7B_DWp_CUJ4R6BuI7o4cV1zR3yAbJb_Zx6yvIRqE-FRoConYQAvD_BwE>. Acesso em: 19 jul. 2023a.

APÊNDICE A – ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

INVENTÁRIO DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) EM INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

ROMILDO LOURENÇO DOS SANTOS

DANILO H. S. SANTOS

FERNANDA SANTANA PEITER

KARINA RIBEIRO SALOMON

**Universidade Federal de Alagoas, Programa de Pós-Graduação em Recursos
Hídricos e Saneamento – PPGRHS/UFAL**

RESUMO

No cenário atual de combate às mudanças climáticas e ao aquecimento global, é essencial ressaltar a necessidade de registrar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) provenientes das atividades humanas por meio da criação de inventários. Esses inventários são fundamentais para estabelecer planos e políticas visando à redução dessas emissões. Nesse contexto, considerando a importância do desenvolvimento de novas tecnologias, este estudo teve como propósito mapear, através de um estudo bibliométrico, a amplitude das pesquisas relacionadas a esse tema. Utilizou-se para isso a base de dados científica Web of Science, e a cronologia da busca a partir da primeira publicação recuperada até os dias atuais (período de 1994 a 2023). Neste estudo foram utilizados os softwares bibliometrix R-package e VOSviewer. As buscas recuperaram um total de 140 documentos, de 52 países, onde os Estados Unidos (EUA), China e Japão destacam-se como os mais produtivos. As palavras-chave mais frequentemente encontradas nos documentos recuperados, indicam que as publicações tratam de aspectos relacionados às “emissões de gases de efeito estufa”, “emissões” e “inventário”, evidenciando ações para o gerenciamento dessas emissões em Instituições de Ensino Superior - IES, a fim de buscar um equilíbrio sustentável nas universidades. O resultado deste estudo constitui uma importante ferramenta para o direcionamento de futuras pesquisas sobre o tema.

Palavras-chave: Inventário. Emissões. Gases de efeito estufa.

INTRODUÇÃO

Dentro do contexto de enfrentamento das alterações climáticas, volta-se a atenção para o papel de liderança das Instituições de Ensino Superior (IES), para que contabilizem as emissões de gases do efeito estufa (GEE) decorrentes de suas atividades. Uma das formas de quantificar os gases gerados é a elaboração de um inventário, que pode ser realizado em empresas, universidades, cidades ou em qualquer atividade geradora de tais gases (Cruz, 2020).

Nesse sentido, diversas empresas e nações cientes da seriedade do problema estão se engajando na busca por ações corretivas e preventivas que visam harmonizar, de maneira sustentável, o crescimento econômico, a preservação ambiental e a justiça social (Dias et al., 2022).

Nesta perspectiva, o desenvolvimento de um inventário é a primeira etapa na criação de programas voltados à melhoria da qualidade do ar e gerenciamento das emissões de GEE (Júnior et al., 2022). Uma vez determinadas as fontes e seu potencial de emissão são possíveis planejar métodos e ações para alcançar a redução desejada (Klein-Banai et al., 2013).

Dentre as diferentes metodologias existentes para a realização de inventários de emissões de GEE, o GHG Protocol é a ferramenta mais utilizada mundialmente pelas empresas e governos para entender, quantificar e gerenciar suas emissões.

No caso especial de universidades, essa iniciativa é também relevante como parte da formação educacional dos alunos, incentivando-os para o desenvolvimento de novas soluções que possam prevenir e combater o aquecimento global, bem como outros impactos decorrentes das mudanças climáticas (Carvalho et al., 2017).

As emissões de CO₂ continuam a aumentar à medida que o consumo humano de energia se intensificou ao longo dos anos em que a queima de combustíveis fósseis foi a principal fonte de energia. Para tanto, as instituições devem embarcar em planos sustentáveis que facilitem e monitorem os impactos ambientais negativos das instalações e atividades do campus que consomem muita energia, principalmente de infraestruturas e atividades de transporte no campus (Kabit et al., 2022). Ademais, a questão das alterações climáticas deixou de ser apenas uma curiosidade científica e uma das muitas preocupações ambientais e tornou-se a principal questão ambiental do nosso tempo e o maior desafio para os reguladores ambientais (Ribeiro et al., 2021).

Dentro desse contexto, é bem reconhecido que as IES produzem grandes quantidades de emissões de GEE devido a estudantes, pessoal e mobilidade, mas também devido ao consumo excessivo de energia no Campus (Filimonau et al., 2021).

Para tanto, existe um consenso na literatura de que uma universidade sustentável denota uma harmonia mais saudável entre os objetivos ambientais, econômicos e sociais no desenvolvimento de políticas e práticas e uma compreensão duradoura dos impactos das atividades e operações do campus (Adenle et al., 2017).

Nesta perspectiva, a aplicação de medidas de gestão ambiental adequadas às alterações climáticas requer a liderança do maior número de atores possível, uma vez que as mudanças nos padrões de produção e consumo devem ser feitas o mais rapidamente possível (Varón-Hoyos et al., 2021).

Progressivamente, as IES vêm incorporando estratégias e ações de desenvolvimento sustentável, como organizações comprometidas com o ensino, pesquisa e serviços comunitários, desempenham um papel crucial e significativo em ajudar a sociedade a enfrentar os desafios climáticos e ambientais (Valls-Val et al., 2021). Adotar novas tecnologias e práticas apoiadas por suas pesquisas e incentivar as gerações mais jovens a desenvolver uma consciência para a sustentabilidade e ações favoráveis ao clima são caminhos possíveis (Kiehle et al., 2023).

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é traçar um panorama da produção científica, através de um estudo bibliométrico, avaliando aspectos como autores, veículos de publicação, áreas do conhecimento, palavras-chave relacionadas, entre outros, a fim de explorar esta pesquisa de forma mais aprofundada constituindo uma importante referência para a comunidade científica conhecer e relacionar as produções e autores dessas áreas e subáreas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Análise Bibliométrica

Esse método possibilita a identificação, organização e avaliação dos elementos que compõem uma área específica de estudo, sendo uma ferramenta relevante para revisões. Trata-se de uma abordagem abrangente que se utiliza de métodos matemáticos e estatísticos para investigar a distribuição, variação e quantidade de publicações existentes em bancos de dados públicos sobre um tema específico (Gallego-Valero et al., 2021).

Fonte de dados

A análise bibliométrica foi conduzida utilizando a base de dados Web of Science (WoS). A WoS é amplamente reconhecida em várias áreas de conhecimento, possui um filtro de seleção para publicações renomadas e é frequentemente empregada em estudos bibliométricos (Jiang et al., 2018).

Seleção e processamento de dados

A amostra de documentos analisados neste estudo foi obtida através dos termos: (Greenhouse gas) AND (inventory) AND (university* OR institute). O levantamento bibliográfico foi realizado com todos os termos que, de acordo com a literatura, são comumente utilizados para se referir a inventário de Gases de Efeito Estufa em universidades ou Instituição de Ensino Superior (IES) com o intuito de se obter resultados mais condizentes com a realidade. A cronologia utilizada para a busca levou em consideração o ano da primeira publicação recuperada sobre o tema na base de dados até novembro de 2023 (1994-2023).

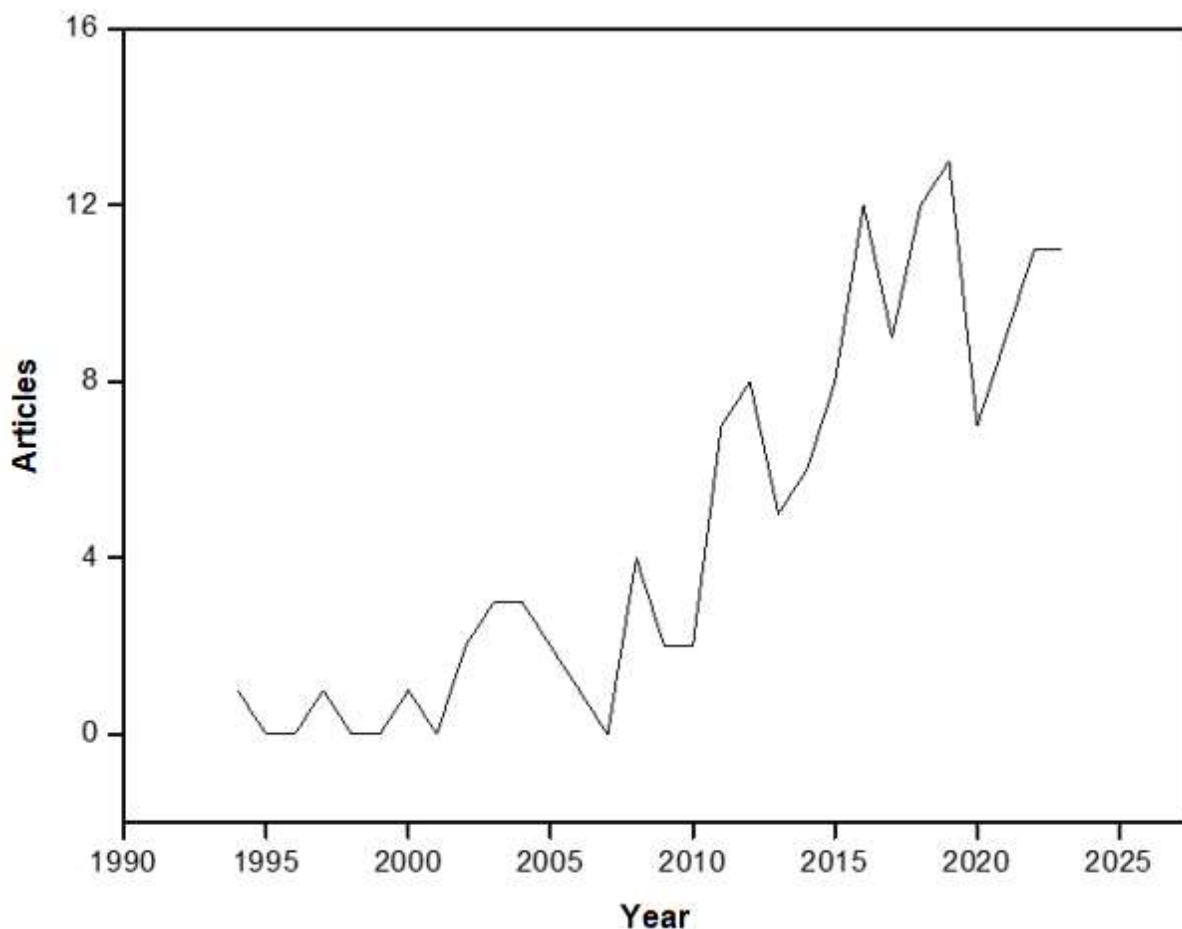
RESULTADOS

Análise descritiva de publicações anuais

Através das buscas realizadas na base de dados WoS foram recuperados ao todo 140 documentos, desse total 79,28% (111 registros), a absoluta maioria, são referentes a artigos científicos, 13,57% (19 registros) correspondem a documentos de revisão e os menos de 8% restantes correspondem à soma de outros tipos de registros como resumo de reunião, capítulo de livro, notícia, material editorial, entre outros.

O número de artigos publicados pode refletir a mudança dos tópicos de pesquisa ano a ano e a tendência de desenvolvimento futuro. Na Figura 1 mostra-se o número de publicações entre os anos de 1994 a 2023.

Figura 1: Número de publicações entre os anos de 1994 a 2023.

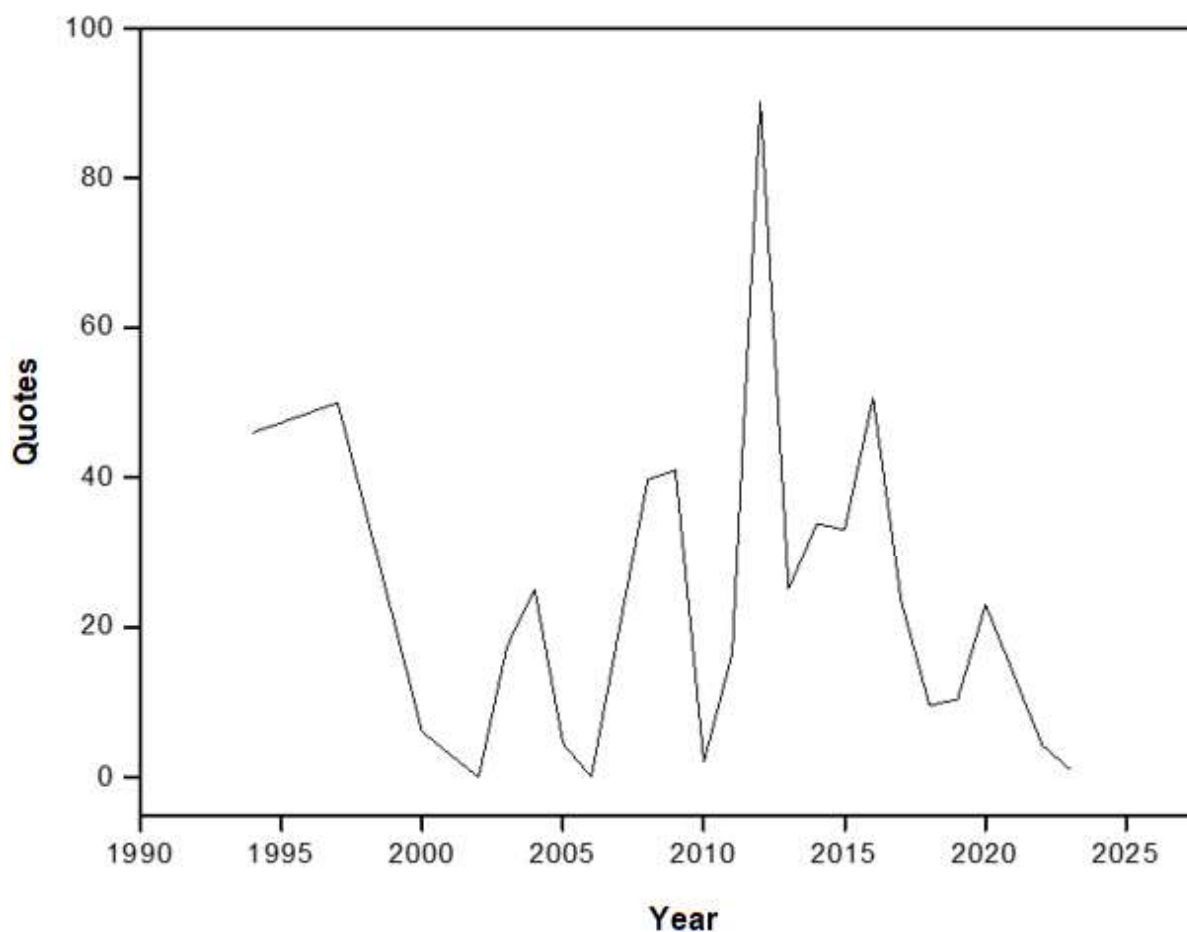


O eixo horizontal mostra o ano e o eixo vertical representa o número de artigos publicados. Do ponto de vista do número de trabalhos publicados, a pesquisa acadêmica nessa área de 1994 a 2007 estava em seu estágio inicial, e o número anual de publicações era relativamente baixo. Em 1994, apenas 1 artigo foi publicado. A partir de 2007, o número de artigos publicados apresentou tendência de aumento gradual, atingindo o pico em 2019 com 13 artigos publicados.

Contudo, nos períodos mais recentes (2016 a 2023), a taxa de publicação aumentou rápida e substancialmente, sendo o número médio de publicações cerca de 3,67 vezes superior ao do período anterior avaliado (2008 a 2015). No ano de 2023, até o momento do levantamento dos dados (14/11/2023), já haviam sido publicados 11 estudos sobre o tema. Estes resultados sugerem que nos próximos anos as publicações anuais sobre este tema continuarão a crescer.

A Figura 2 apresenta a média anual de citações de documentos.

Figura 2: Média anual de citações de documentos.



(Fonte: bibliometrix.org).

De modo geral, observa-se que a citação geral dessa área mostra uma tendência em ziguezague, indicando que mais e mais estudiosos estão prestando atenção a esse campo nos últimos anos. O número médio de citações atingiu seu pico em 2012 com média de citações totais de cada artigo de 7,5 vezes. A média de citações totais de cada artigo chegou a 23,72 vezes por ano. O artigo publicado por Mendoza (2019) é o mais citado.

Recursos sobre fontes de publicação

Do quantitativo de documentos recuperados foram publicados em 95 diferentes periódicos, classificados por índice h. Este índice fornece de maneira imparcial uma estimativa sobre o impacto e a relevância das descobertas científicas.

As 10 principais fontes de publicação com os maiores valores de índice h, número de citações (NC), de publicações (NP) e ano em que cada publicação começou a ser publicada (PY_start) estão listadas na Tabela 1.

O periódico Journal of cleaner production (h index 9), bastante relevante para Revista de Produção mais limpa, foi o periódico mais produtivo com 11 publicações, seguido da Carbon management, apesar do (h index 3) com 5, Atmospheric chemistry and physics (h index 4) com 4 e Environmental progress \& sustainable energy (h index 4) com 4 publicações, sendo mensurados através destas métricas, produtividade e impacto dos pesquisadores. Em conjunto, estes quatro periódicos publicaram 17,14% do total de artigos sobre este tema de pesquisa. Outros importantes periódicos como International journal of life cycle assessment e Journal of environmental management, ambos com h index 3, também publicaram dentro da temática abordada.

Tabela 1: Principais fontes de publicação com os maiores valores de índice h, número de citações (NC), de publicações (NP) e ano em que cada publicação começou a ser publicada.
(PY_start)

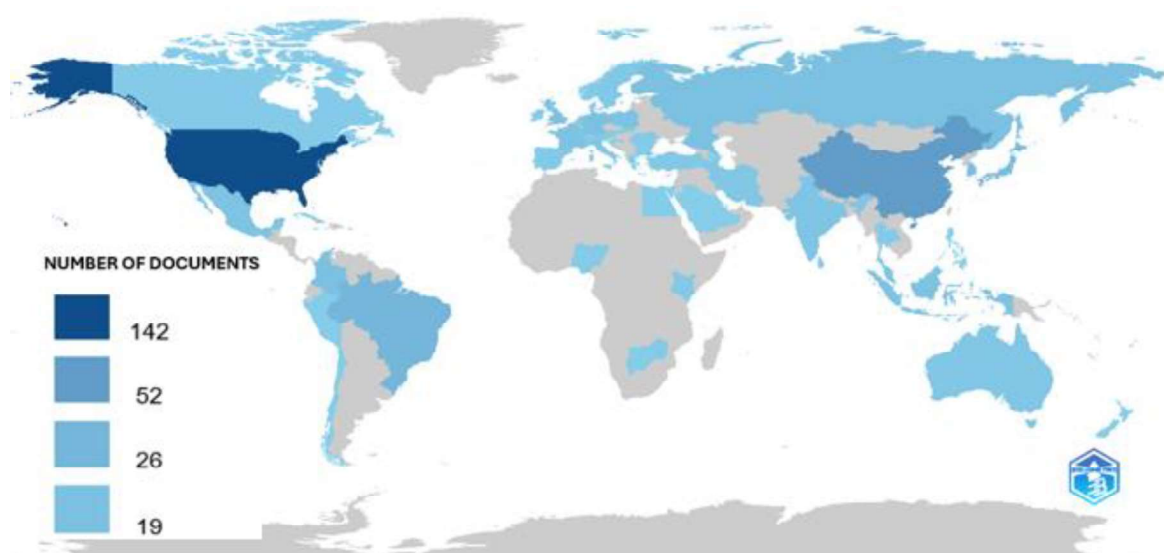
Element	h index	G index	m index	NC	NP	PY start
Journal of cleaner production	9	11	0.692	342	11	2011
Atmospheric chemistry and physics	4	4	0.333	275	4	2012
Environmental progress \& sustainable energy	4	4	0.333	52	4	2012
Carbon management	3	5	0.333	45	5	2015
International journal of life cycle assessment	3	3	0.375	85	3	2016
Journal of environmental management	3	3	0.188	52	3	2008
Journal of geophysical research-atmospheres	3	3	0.100	161	3	1944
Sustainability	3	5	0.600	39	5	2019
Applied geography	2	2	0.143	21	2	2010
Energy and buildings	2	2	0.500	80	2	2020

(Fonte: bibliometrix.org).

Países relevantes em pesquisas sobre o tema

Os artigos publicados sobre o tema no período 1994-2023 provêm de um total de 52 países. A Figura 3 mostra o mapa dos países com resultados na pesquisa. Embora a maioria dos estudos neste campo venham de um número relativamente pequeno de países, como EUA, China, Brasil, Japão, Coreia do Sul, Colômbia, Finlândia, Alemanha, Rússia e Reino Unido, notadamente os países com uma grande diversidade de características econômicas e socioculturais produzem relevantes pesquisas nesta área do conhecimento.

Figura 3: Mapa da pesquisa que evidencia todos os países que publicaram sobre o tema.

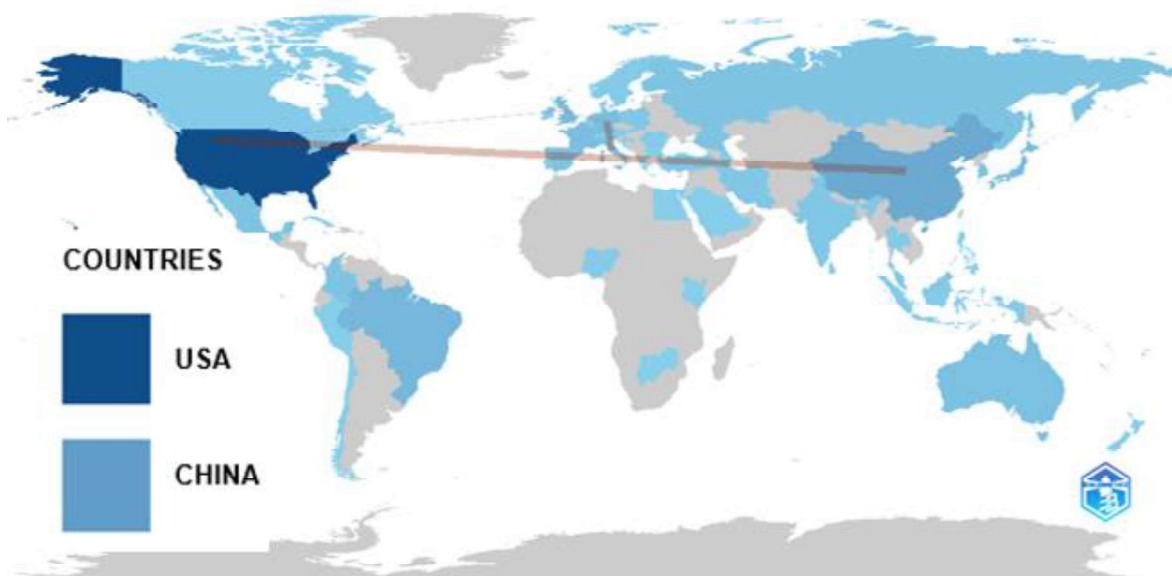


(Fonte: webofscience.com).

Rede de países/regiões

As redes país/região mostram visualmente a distribuição da produção e as parcerias entre países/regiões são apresentados na Figura 4.

Figura 4: Distribuição da produção e as parcerias entre países/regiões.



(Fonte: webofscience.com).

Cabe evidenciar que os dois países líderes em publicações sobre o assunto são Estados Unidos da América e a China, que detém o maior número de publicações, o que pode inferir investimentos na área.

Na Tabela 2 é apresentada a cooperação entre países/regiões. Vê-se que Estados Unidos, China, Alemanha e Itália, ambos têm a cooperação mais estreita com um total de 3 documentos publicados, seguido de EUA, Reino Unido, Alemanha e Reino Unido, ambos seguem com uma frequência total de 2 documentos publicados.

Tabela 2: Valores da cooperação entre países/regiões

De	Para	Frequência
EUA	China	3
Alemanha	Itália	3
EUA	Reino Unido	2
Alemanha	Reino Unido	2
EUA	França	1
EUA	Alemanha	1
China	Japão	1
China	Austrália	1
EUA	Itália	1
Brasil	Mexico	1

(Fonte: bibliometrix.org).

Análise da nuvem de palavras sobre o tema

As alterações climáticas são reconhecidas como uma preocupação internacional desde 1992 pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (UNFCCC, 2023). Em 1997, o Protocolo de Quioto reforçou o compromisso global para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), orientado por prioridades nacionais e regionais e metas de redução dentro de um prazo estabelecido (Guereca et al., 2013).

Tem-se recebido interesses significativos neste campo de conhecimento, principalmente, nos últimos 10 anos, visto o aumento no número de publicações sobre o tema neste período, como observado na Figura 1.

Embora a maioria dos estudos neste campo venham de um número relativamente pequeno de países. Dentro desse contexto, estudos mostram que, nos países em desenvolvimento, há poucos estudos desenvolvidos que analisam as emissões de gases de efeito estufa geradas pelas universidades. A escassez é mais evidente nas universidades latino-americanas (Vásquez et al., 2015).

Para demonstrar visualmente a frequência neste campo de estudo são abordadas em trabalhos científicos, uma nuvem de palavras que foi elaborada a partir do número de publicações recuperadas sobre o tema (Figura 5). Uma vez que todos os artigos avaliados neste estudo focam em ações utilizadas para o gerenciamento das emissões de GEE em IES, além disso, busca um equilíbrio de sustentabilidade nas universidades como um todo.

Figura 5: Nuvem de palavras sobre a frequência neste campo de estudo com que são abordadas em trabalhos científicos. Dados recuperados entre os anos de 1994 e 2023



(Fonte de dados: webofscience.com).

Vale ressaltar, que as 10 principais nuvem de palavras recuperadas e seus respectivos números de frequência estão sumarizados na Tabela 3.

Tabela 3: 10 Principais nuvem de palavras recuperadas e seus respectivos números de frequência.

Nuvem de palavras	Frequência
Emissões de gases de efeito estufa	26
Emissões	10
Desempenho	10
Inventário	10
Avaliação do ciclo de vida	8
Sistemas	8
Dióxido de carbono	7
Gerenciamento	7
Sustentabilidade	7
Universidade	7

(Fonte: bibliometrix.org).

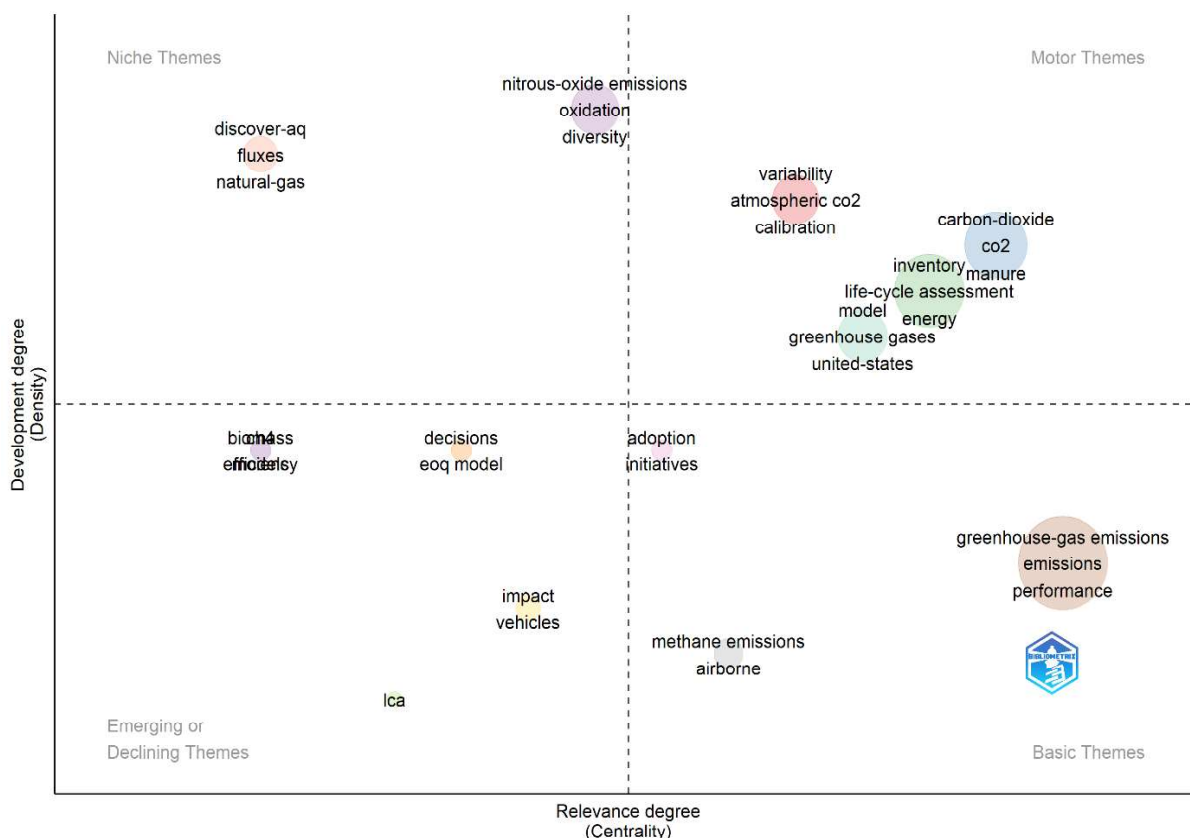
Nesta perspectiva, o papel das universidades e faculdades como agentes de transformações sociais positivas e facilitadoras do progresso mundial em direção aos objetivos do desenvolvimento sustentável se tornará ainda mais importante no futuro (Filimonau et al., 2021).

Análise de evolução temática sobre o tema

A análise de evolução temática pode ser usada para detectar, quantificar e visualizar campos de pesquisa específicos, e pode mostrar visualmente a evolução do tema nos últimos anos. Um mapa estratégico mostrado na Figura 6 dividido em quatro quadrantes mostra o grau de conexão entre os clusters e entre as palavras-chave no cluster.

A propensão para pesquisas sobre o tema pode ser identificada pela análise dos diferentes grupos nos quais as palavras-chave se enquadram. Ao todo, os termos estão compreendidos em 13 grupos identificados por cores distintas. Destes, foram observados quatro grupos principais, escolhidos pelo maior número de palavras-chave incluídas.

Figura 6: Grau de conexão entre os clusters e entre as palavras-chave no cluster.



(Fonte: bibliometrix.org).

O quarto (Basic Themes) e o primeiro (Motor Themes) quadrante são os bem mais desenvolvidos, apresentando com forte centralidade e alto impacto sendo os mais relevantes neste campo de conhecimento.

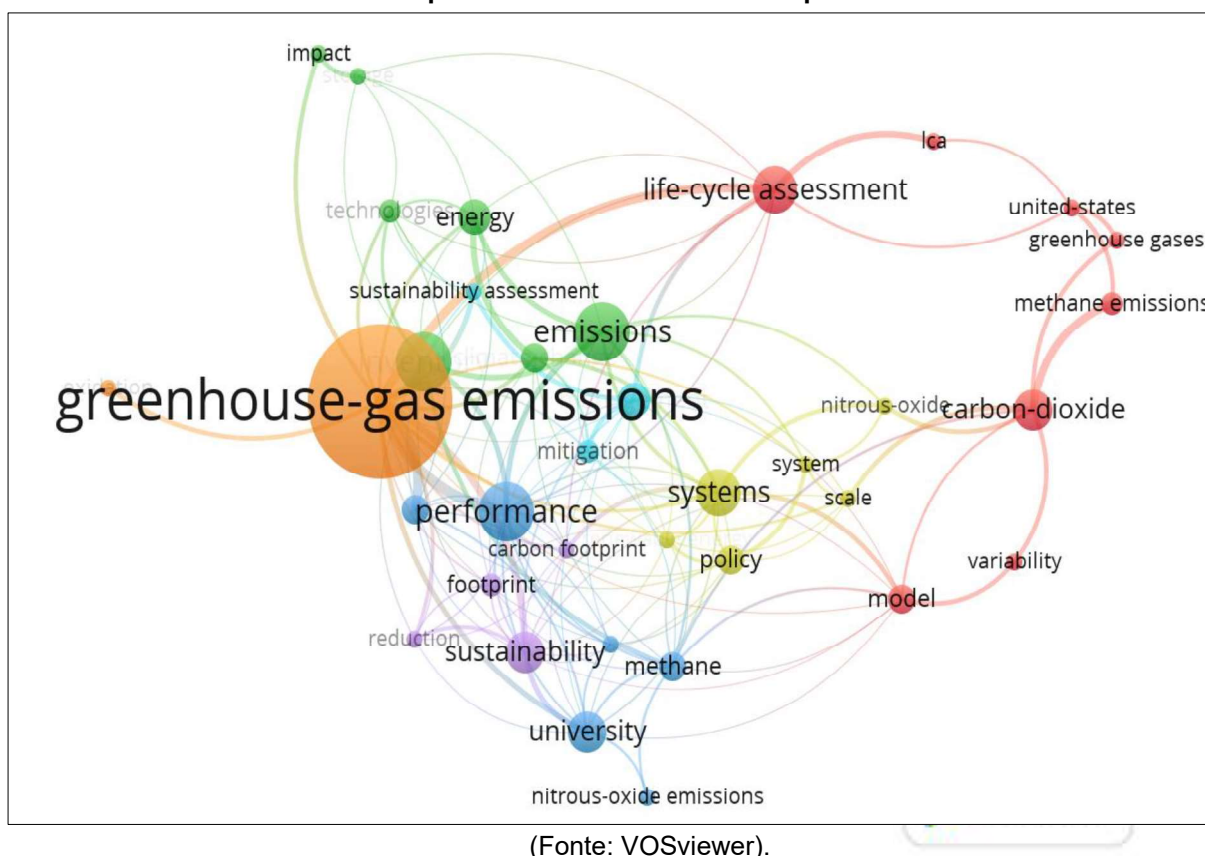
Os diagramas estratégicos permitem visualizar o campo de pesquisa como um conjunto de temas, mapeados e classificados em quatro grupos, categorizados em termos de densidade e centralidade: (I) motor cluster (primeiro quadrante, com alta densidade e forte centralidade) compreende um total de 10 palavras-chave; (II) clusters altamente desenvolvidos e isolados (segundo quadrante superior esquerdo, com importância marginal para o campo de pesquisa; 'temas especializados') com um total de 7 palavras-chave; (III) clusters em declínio ou emergentes (terceiro quadrante, com baixa densidade e baixa centralidade;) com 2 palavras-chave; e (IV) clusters básicos e transversais (quarto quadrante), possui 10 palavras-chave com temas importantes e relevantes ao campo de pesquisa.

Vale ressaltar, que a esfera representa um cluster de palavras (ou tema) e o nome de cada um destes está relacionado à palavra e/ou tema mais recorrente; o

volume das esferas corresponde ao número de artigos associados, quanto maior a esfera, maior o número de artigos que citaram tal palavra como palavra-chave.

A detecção das palavras-chave mais comumente utilizadas nos documentos recuperados, limitada ao número mínimo de 3 ocorrências, são apresentadas na Figura 7. Cada ponto representa um nó na rede, sendo os nós equivalentes às palavras-chave. Quanto maior o nó, maior o número de links feito por estes termos. As linhas entre os nós indicam a co-ocorrência entre as palavras-chave e a espessura da linha é proporcional à quantidade com a qual está co-ocorrência é percebida.

Figura 7: Visualização de uma rede relacionada às palavras-chave que ocorrem com mais frequência nos documentos recuperados.



Observa-se os termos “emissões de gases de efeito estufa”, “emissões” e “desempenho”, se destacam entre os demais, como os termos que possuem os maiores números de links com outras palavras-chave. O termo “emissões de gases de efeito estufa” é o mais evidenciado pelos documentos recuperados com total de 26 ocorrências, o que reflete sua posição central neste campo de pesquisa de alta

frequência, seguido do termo emissões e desempenho com 10 e 10 ocorrências respectivamente.

Nesse sentido, as palavras-chave de um documento científico podem oferecer importantes informações sobre as principais ideias e tendências de um determinado tema, sendo, portanto, uma ferramenta extremamente importante em análises bibliométricas. Neste estudo foram identificadas ao todo um total de 50 palavras-chave.

CONCLUSÃO

O levantamento obtido a partir das buscas nas bases científicas, culminou na observação do interesse ascendente do desenvolvimento de pesquisas e tecnologias, uma vez que todos os documentos avaliados neste estudo evidenciam estratégias e ações para o gerenciamento das emissões de GEE em IES, além de incentivar a buscar um equilíbrio de sustentabilidade nas universidades.

De 1994 a 2023, um total de 140 documentos relacionados ao tema foram publicados em revistas científicas indexadas à base de dados Web of Science.

Apesar da maioria dos estudos neste campo venham de um número relativamente pequeno de países, têm-se recebido interesses significativos nesta área de conhecimento, principalmente, nos últimos 10 anos, visto o aumento no número de publicações sobre o tema. A China e os Estados Unidos foram os países que apresentou o maior número de publicações recuperadas sobre a temática, bem como os países que mais têm cooperado com outras nações no desenvolvimento de novos estudos, esta é uma informação importante, uma vez que a poluição do ar e questões relacionadas às mudanças climáticas afetam o mundo inteiro.

Os periódicos que mais publicaram sobre o tema foram o Journal of cleaner production, Atmospheric chemistry and physics, Environmental progress & sustainable energy e Carbon management.

Através das palavras-chave mais frequentemente encontradas nos documentos recuperados como “emissões de gases de efeito estufa”, “emissões” e “inventário” é possível entender o foco principal e as principais tendências de pesquisa na área. Percebe-se, então, que através da análise bibliométrica os resultados mostram que poderá haver tendência de crescimento de pesquisas relacionadas ao tema nos próximos anos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

As IES são tipicamente constituídas por um conjunto de edifícios destinados a salas de aula, laboratórios, gabinetes, refeitórios, residências etc., e alguns deles dispõem de centrais elétricas, circuitos de transportes, redes de água ou serviços de saúde próprios, dependendo sobretudo do número de alunos que acolhem e qualquer uma dessas atividades tem fontes de emissão que contribuem para os GEE, que precisam ser identificadas e quantificadas. (Valls-Val et al., 2021).

Um estudo de caso realizado na Universidade de Oulu na Finlândia, diz que a redução de emissões e a obtenção da neutralidade carbônica são implementadas por várias organizações, instituições, países e outras associações a nível nacional e internacional. A União Europeia (UE), por exemplo, prometeu no Pacto Verde Europeu alcançar a neutralidade zero de emissões até 2050 com descarbonização profunda abrangendo todos os setores. O plano funciona como um caminho para todos os estados membros da UE, enquanto os países também adotam parcialmente seus próprios compromissos. Por exemplo, a Finlândia tem como objetivo atingir a neutralidade de carbono já em 2035 (Kiehle et al., 2023).

Por meio deste trabalho, foi possível observar que os resultados das estimativas de emissões de GEE nas IES teve maior contribuição no escopo 3. Por estas razões, estudos recomendam que as universidades desenvolvam projetos para estimular caronas solidária, possibilidade de isenção do pagamento de estacionamento para automóveis com mais de três passageiros transportados e incentivos para a utilização de bicicletas pelos alunos, funcionários e professores, são exemplos de possíveis soluções de transporte, para atingir metas de redução de emissão de GEE no campus (Carvalho et al., 2017).

Por outro lado, fomentar o uso do transporte público no campus como parte das estratégias, tem-se gerado resultados positivos na redução das emissões veiculares.

Ao mesmo tempo, a universidade deve trabalhar em estreita colaboração com o governo local e estabelecer um sistema de transporte público eficaz e eficiente para apoiar as estratégias da instituição (Kabit et al., 2022).

Em relação aos escopos 1 e 2 estabelecer estratégias de redução do consumo de água, a implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica e

aulas virtuais podem contribuir para melhorar o desempenho ambiental da universidade em termos de mitigação das Mudanças Climáticas.

Da mesma forma, espera-se que doravante as intervenções nas infraestruturas da instituição sejam realizadas com técnicas e materiais de baixa pegada de carbono (Varón-Hoyos et al., 2021).

Pesquisas futuras sobre emissões de GEE em universidades latino-americanas poderiam aprofundar o conhecimento sobre potenciais reduções de emissões, contribuindo assim para o aumento do número de publicações sobre o tema (Vásquez et al., 2015).

REFERÊNCIAS

ADENLE, Y. A.; ALSHUWAIKHAT, H. M. **Spatial estimation and visualization of CO2 emissions for campus sustainability: The case of King Abdullah University of Science and Technology (KAUST), Saudi Arabia.** Sustainability (Switzerland), v. 9, n. 11, 17 nov. 2017.

Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica, v. 15, n. 2, p. 530, 6 ago. 2022. CARVALHO, J. P. A. F. DE; VAN ELK, A. G. H. P.; ROMANEL, C. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa no campus gávea da PUC-Rio.** Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 22, n. 3, p. 591–595, 1 maio 2017.

CQNUNC, Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre as Alterações Climáticas. **Emissões de gases de efeito estufa por país e setor. Parlamento Europeu. 2023.** Disponível em: <<http://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20180301STO98928/emissoes-degases-com-efeito-de-estufa-por-pais-e-setor-infografia>>. Acesso em: 13 fev. 2024.

CRUZ, U. DE B. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa e estratégias de mitigação em instituições de ensino superior: o caso da universidade federal de Sergipe,** 2020. 265 f.

Dias, F et al. **Análise bibliométrica da produção científica sobre créditos de carbono (2012-2021).** Revista de Gestao Social e Ambiental, v.17.n.1 | p.1-18 | e03101 | 2023.

FGV. Fundação Getúlio Vargas. Programa Brasileiro GHG Protocol. **Ferramenta de Cálculo do PBGHG 2023.0.3.** Disponível em:

<<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd28GUG1Kc8wXj8JNRAFhMRh32r24Wome4RBuEdsnEb3OLB0Q/viewform>>. Acesso em: 08 nov. 2023.

FGV. Fundação Getúlio Vargas. Programa Brasileiro GHG Protocol. **O Programa Brasileiro GHG Protocol**, 2023.3.0. Disponível em:

<https://www.ghgprotocolbrasil.com.br/oprograma-brasileiro-ghg-protocol?locale=pt-br>. Acesso em 08 nov. 2023.

FILIMONAU, V. et al. **The carbon footprint of a UK University during the COVID-19 lockdown**. Science of the Total Environment, v. 756, 20 fev. 2021.

Gallego-Valero, L., Moral-Parajes, E., Román-Sánchez, I.M., 2021. **Wastewater Treatment Costs: A Research Overview through Bibliometric Analysis**. Sustain. 2021, Vol. 13, Page 5066 13, 5066.

Jiang, M., Qi, Y., Liu, H., Chen, Y., 2018. **The Role of Nanomaterials and Nanotechnologies in Wastewater Treatment: a Bibliometric Analysis**. Nanoscale Res. Lett. 13, 1–13.

JÚNIOR, J. C. DA S. et al. **Inventário das emissões de gases de efeito estufa em uma companhia de saneamento. 2020**. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias.

KABIT, M. R.; SIONG, J. T. L.; YASSIN, A. Towards Campus sustainability: **Estimating on-campus Vehicle co2 emissions in Unimas**. Journal of Sustainability Science and Management, v. 17, n. 6, p. 193–206, 1 jun. 2022.

KIEHLE, J. et al. **Carbon footprint at institutions of higher education: The case of the University of Oulu**. Journal of Environmental Management, v. 329, 1 mar. 2023.

KLEIN-BANAI, C.; THEIS, T. L. **Quantitative analysis of factors affecting greenhouse gas emissions at institutions of higher education**. Journal of Cleaner Production. Anais...Elsevier Ltd, 2013.

Leonor Patricia Güereca, Nathalia Torres, Adalberto Noyola, **Carbon Footprint as a basis for a cleaner research institute in Mexico**, Journal of Cleaner Production, Volume 47, 2013, Pages 396-403, ISSN 0959-6526.

MENDOZA-FLORES, R.; QUINTERO-RAMÍREZ, R.; ORTIZ, I. **The carbon footprint of a public university campus in Mexico City**. Carbon Management, v. 10, n. 5, p. 501–511, 3 set. 2019.

RIBEIRO, A. A.; GUIMARÃES, C. S. **Estimation of greenhouse gas emissions in civil construction for a modular construction on the campus of the Federal**

University of Rio de Janeiro, Brazil. Journal of Physics: Conference Series. Anais...IOP Publishing Ltd, 9 jun. 2021.

VALLS-VAL, K.; BOVEA, M. D. **Carbon footprint in Higher Education Institutions: a literature review and prospects for future research**. Clean Technologies and Environmental Policy Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, , 1 nov. 2021.

VARÓN-HOYOS, M.; OSORIO-TEJADA, J.; MORALES-PINZÓN, T. **Carbon footprint of a university campus from Colombia**. Carbon Management, v. 12, n. 1, p. 93–107, 2021.

VÁSQUEZ, 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, 1 dez. 2015.

ANEXO A - CAMPUS SERTÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS (UFAL)

Foto 1 – Entrada do Campus Sertão.



Fonte: UFAL Campus Sertão, 2024.

Foto 2 – Entrada à unidade administrativa e educacional Campus Sertão.



Fonte: UFAL Campus Sertão, 2024.

Foto 3 – Área externa do Campus Sertão.



Fonte: UFAL Campus Sertão, 2024.

Foto 4 - Restaurante Universitário (RU) Campus Sertão.



Fonte: UFAL Campus Sertão, 2024.

ANEXO B - INFORMAÇÕES SOBRE O CONSUMO DE COMBUSTÍVEIS NO PERÍODO INVENTARIADO

Tabela 24 – Dados do consumo de combustível do Campus Sertão no período inventariado.

Combustão Móvel		
Tipo de combustível	Consumo de combustível (L)	Ano
Gasolina	6.092,74	2018
Etanol	Não houve abastecimento	
Diesel	37.142,00	
Total	43.234,74	
Gasolina	Não houve abastecimento	2020
Etanol	Não houve abastecimento	
Diesel	2.739,41	
Total	2.739,41	
Gasolina	4.856,93	2022
Etanol	Não houve abastecimento	
Diesel	8.439,37	
Total	13.296,30	

Fonte: O autor, (2024).

Tabela 25 – Informações dos tipos de veículos e quantitativo por ano do inventário.

Combustão Móvel		
Tipo de Veículos	Quantitativo	Ano
Micro-ônibus	3	2018
Carros pequenos	2	
Carros médios	3	
Total	8	
Micro-ônibus	3	2020
Carros pequenos	2	
Carros médios	2	
Total	7	
Micro-ônibus	2	2022
Carros pequenos	3	
Carros médios	2	
Total	7	

Fonte: O autor, (2024).

ANEXO C – INFORMAÇÕES SOBRE COMBUSTÃO ESTACIONÁRIA NO PERÍODO INVENTARIADO**Tabela 26 – Informações sobre o consumo anual (Ton) GLP no RU**

COMBUSTÃO ESTACIONÁRIA	
Consumo anual (Ton)	Ano
-	2018
0,45	2020
1,80	2022
Total 2,25	

Fonte: O autor, (2024).

ANEXO D – INFORMAÇÕES SOBRE AS EMISSÕES FUGITIVAS NO PERÍODO INVENTARIADO

Tabela 27 – Informações dos equipamentos que liberaram emissões fugitivas no por ano do inventário.

EMISSÕES FUGITIVAS DE AR CONDICIONADO E EXTINTORES			
Equipamentos	Tipo de gás	Qt. (Kg)	Ano
Extintor de incêndio	CO ₂	42	2018
Ar condicionado	R410A	16,46	
Ar condicionado	R422D	61,07	
Total		119,53	
Extintor de incêndio	CO ₂	42	2022
Ar condicionado	R410A	29,14	
Ar condicionado	R422D	75,77	
Total		146,91	

Fonte: O autor, (2024).

ANEXO E – INFORMAÇÕES SOBRE O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA POR ANO DO INVETARIADO

Tabela 28 – Informações do consumo de energia elétrica no período inventariado

CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	
Consumo (MWh)	Ano
404,579	2018
223,090	2020
247,339	2022
Total	875,008

Fonte: O autor, (2024).

ANEXO F - INFORMAÇÕES SOBRE AS VIAGENS AÉREAS A NEGÓCIO NO PERÍODO INVENTARIADO

Tabela 29 – Dados das viagens aéreas a negócios no período inventariado

VIAGENS AÉREAS A NEGÓCIO			
Origem da viagem	Destino da viagem	Quantidade de viagens	Ano
Maceió (AL)	Cascavel (PR)	2	2018
Maceió (AL)	São Paulo (SP)	2	
Maceió (AL)	Rio de Janeiro (RJ)	6	
Maceió (AL)	Belém (PA)	2	
Maceió (AL)	Uberlândia (MG)	2	
Maceió (AL)	Porto Alegre (RS)	2	
Total		16	
Maceió (AL)	Belém (PA)	2	2022
Total		2	

Fonte: O autor, (2024).