

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**SUSTENTABILIDADE DE FORMA PRÁTICA PARA A ENGENHARIA
QUÍMICA: METODOLOGIAS PARA A GESTÃO DE CARBONO EM
ATIVIDADES PRODUTIVAS E ECONÔMICAS**

JULIANA TAVARES ZANUZZO

Trabalho de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos, como pré-requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Adriana Paula Ferreira Palhares

São Carlos - SP

2023

BANCA EXAMINADORA

Trabalho de Graduação apresentado no dia 28 de Agosto de 2023 perante a seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof^a. Dr^a. Adriana Paula Ferreira Palhares, DEQ/UFSCar

Convidado: Prof^a. Dr^a. Mônica Lopes Aguiar, DEQ/UFSCar

Professor da Disciplina: Prof. Dr. Ernesto Antonio Urquieta Gonzalez, DEQ/UFSCar

AGRADECIMENTOS

Eu gostaria de expressar minha sincera gratidão a todas as pessoas que me apoiaram durante a realização deste trabalho de conclusão de curso. Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha família. Sem o amor e o apoio deles, eu não teria chegado a este ponto.

Gostaria de agradecer a minha orientadora Prof. Dra. Adriana Paula Ferreira Palhares, por apoiar a minha ideia desde o início e por todo suporte na construção do atual trabalho. Seu conhecimento foi essencial para que eu pudesse completar este projeto.

Agradeço ao Fabrício Pereira, hoje gerente de sustentabilidade na BRF, por todo conhecimento compartilhado durante minha trajetória na Ambev, pelo suporte para o desenvolvimento desse projeto, e por ser exemplo e incentivo para minha carreira profissional. Agradeço também o André Luiz Ferri, meu gestor na Ambev, por todo conhecimento compartilhado que contribuíram para o desenvolvimento do projeto.

Agradeço também ao PET-EQ (Programa de Educação Tutorial do curso de Engenharia Química) por proporcionar vivências de ensino, pesquisa e extensão, e pela oportunidade de ser fundadora do projeto Pegada PET, minha primeira experiência, fonte de conhecimento e motivação para atuar na área de sustentabilidade.

A Prof. Dra. Fernanda Perpétua Casciatori pela orientação na minha iniciação científica na área de bioprocessos, e agradecer também pela sua função de tutora do PET-EQ durante os anos que fiz parte do grupo, auxiliando e motivando minha participação nos projetos e pastas.

Também gostaria de agradecer a todos os professores ao longo do curso pela educação de alta qualidade que me proporcionaram ao longo dos anos.

Obrigado a todos que fizeram parte deste processo e contribuíram para o sucesso deste trabalho.

RESUMO

O aumento exponencial da concentração de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera em quantidade acima da capacidade natural do planeta está gerando o fenômeno das mudanças climáticas, cujos os impactos econômicos, sociais e ambientais têm sido motivo de atenção para a comunidade científica internacional e preocupação política mundial. É um novo cenário que abrange desafios para a gestão das atividades produtivas e econômicas, com novos riscos e oportunidades de inovação para as empresas. Diante disso, o mercado necessita com urgência de profissionais capacitados nessa temática, com amplo conhecimento das operações e da cadeia de valor para fazer gestão das emissões de GEE, de acordo com os protocolos e índices de sustentabilidade. Essas expectativas estão alinhadas com as novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN), que determinam que os egressos dos cursos de engenharias tenham perfis e competências que considerem os aspectos globais, políticos, econômicos, sociais, ambientais, culturais, de segurança e saúde no trabalho, e que atuem com isenção e comprometimento com a responsabilidade social e com o desenvolvimento sustentável. Neste contexto, este trabalho se propõe a realizar uma pesquisa bibliográfica sobre mudanças climáticas e metodologias para a gestão das atividades produtivas e econômicas contemplando a sustentabilidade das mesmas, demonstrando a aplicação do método *GHG Protocol* na resolução de um estudo de caso para o desenvolvimento de uma estratégia de ensino e aprendizagem. Como resultado da pesquisa, observou-se que o método *GHG Protocol* é o mais utilizado pelas empresas, e pelos dados disponíveis seria o mais coerente para o cálculo do estudo de caso modelo. Com os resultados do estudo de caso modelo de 330,23 toneladas de CO₂ equivalente emitidas em 1 ano foi possível analisar planos de ações aplicados para cada escopo de emissão. Além disso, foram apresentadas propostas de aplicação do conteúdo abordado no atual trabalho em disciplinas obrigatórias, optativas, novas disciplinas, grupos de extensão e ACIEPEs (Atividade Curricular de Integração Ensino, Pesquisa e Extensão), capacitando os engenheiros químicos para as novas necessidades do mercado de trabalho.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, Sustentabilidade, Carbono, *GHG Protocol*, Estratégia de Ensino e Aprendizagem.

ABSTRACT

The exponential increase in the concentration of Greenhouse Gases (GHG) in the atmosphere in amounts above the planet's natural capacity is generating the phenomenon of climate change, whose economic, social and environmental impacts have been a matter of attention for the international scientific community and world political concern. It is a new scenario that encompasses challenges for the management of productive and economic activities, with new risks and innovation opportunities for companies. In view of this, the market urgently needs trained professionals in this area, with extensive knowledge of operations and the value chain to manage GHG emissions, in accordance with protocols and sustainability indices. These expectations are in line with the new National Curriculum Guidelines (DCN), which determine that graduates of engineering courses have profiles and skills that consider global, political, economic, social, environmental, cultural, occupational safety and health aspects, and that act with impartiality and commitment to social responsibility and sustainable development. In this context, this work proposes to carry out a bibliographical research on climate change and methodologies for the management of productive and economic activities, contemplating their sustainability, demonstrating the application of the GHG Protocol method in the resolution of a case study for the development of a teaching and learning strategy. As a result of the research, it was observed that the GHG Protocol method is the most used by companies, and based on the available data, it would be the most consistent for calculating the model case study. With the results of the model case study of 330.23 tons of CO₂ equivalent emitted in 1 year, it was possible to analyze action plans applied to each emission scope. In addition, proposals were presented for the application of the content covered in the current work in mandatory and optional subjects, new subjects, extension groups and ACIEPEs (Curricular Activity for Teaching, Research and Extension Integration), training chemical engineers for the new needs of the market of work.

Keywords: Climate Change, Sustainability, Carbon, GHG Protocol, Teaching and Learning Strategy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.	Seis passos para elaboração do inventário de GEE.	32
Figura 2.2.	Orientação para o cálculo das emissões.	36
Figura 2.3.	Direcionamento para gestão de carbono.	39
Figura 3.4.	Maquete eletrônica unidade industrial do estudo de caso.	45
Figura 4.5.	Resultados por escopo.	59
Figura 4.6.	Resultados por fonte de emissão.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1.	Exemplo de Gases e seu respectivo GWP.	16
Tabela 2.2.	Definição dos escopos de emissões.	34
Tabela 2.3.	Exemplos de dados de atividade.	37
Tabela 3.4.	Fonte de emissão.	47
Tabela 3.5.	Fatores de emissão (EF) dos combustíveis.	49
Tabela 3.6.	Fatores de emissão (EF) biocombustível.	50
Tabela 3.7.	Potenciais de aquecimento global necessários para os cálculos.	50
Tabela 3.8.	Fatores de emissão (EF) do SIN necessários para os cálculos.	51
Tabela 4.9.	Consumo médio por mês em MWh.	54
Tabela 4.10.	Dados das atividades em 1 ano.	55
Tabela 4.11.	Resumo dos resultados das emissões.	58

NOMENCLATURA

UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
DCN	Diretrizes Curriculares Nacionais
GEE	Gases do Efeito Estufa
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
TP	Temperature Potential
CO ₂ e	Dióxido de Carbono Equivalente
ACIEPE	Atividade Curricular de Integração Ensino, Pesquisa e Extensão
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONU	Organização das Nações Unidas
CFCs	Clorofluorocarbonos
CQNUAC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas
TFI	Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa
NGGIP	Programa Nacional de Inventários de Gases de Efeito Estufa do IPCC
CDP	<i>Carbon Disclosure Project</i>
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>
WRI	<i>World Resources Institute</i>
ISE	Índice de Sustentabilidade Empresarial
GRI	Global Reporting Initiative
DJSI	<i>Dow Jones Sustainability World Index</i>
SBTi	<i>Science Based Targets</i>
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia e Informação

SUMÁRIO

BANCA EXAMINADORA.....	ii
AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
NOMENCLATURA.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1. Escopo.....	12
1.2. Objetivo	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1. Mudanças climáticas.....	14
2.2. Gases do efeito estufa	17
2.2.1 Dióxido de carbono.....	17
2.2.2 Metano	18
2.2.3 Dióxido de nitrogênio.....	18
2.2.4 Hidrofluorcarbonos, perfluorcarbonos e hexafluoreto de enxofre	19
2.2.5 Vapor de água.....	19
2.3. Relatórios do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas).....	20
2.4. Impacto das mudanças climáticas nos ecossistemas	23
2.5. Governança climática	24
2.6. Metodologias e programas para quantificação de emissões e elaboração de relatórios.....	28
2.7. Inventário de emissões utilizando <i>GHG Protocol</i>	31
2.7.1 Definição dos limites organizacionais.....	32

2.7.2	Definição dos limites operacionais.....	33
2.7.3	Seleção da metodologia de cálculo e fatores de emissão	36
2.7.4	Coleta de dados.....	37
2.7.5	Cálculo das emissões.....	38
2.7.6	Elaboração do relatório.....	38
2.8.	Gestão estratégica do carbono	39
2.9.	Projeto pedagógico do curso de Engenharia Química da UFSCar e as novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN's)	41
3.	METODOLOGIA.....	43
3.1	Tipologia da Pesquisa.....	43
3.2	Estudo de caso	44
3.3	Metodologia <i>GHG Protocol</i> para o estudo de caso.....	46
3.3.1	Definição dos limites organizacionais	46
3.3.2	Definição dos limites operacionais.....	47
3.3.3	Seleção da metodologia de cálculo e fatores de emissão	48
3.3.4	Coleta de dados.....	49
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	51
4.1	Pesquisa bibliográfica.....	51
4.2	Resultados do estudo de caso	52
4.2.1	Estruturação do estudo de caso modelo.....	52
4.2.2	Cálculo das emissões.....	55
4.3	Gestão das emissões de carbono.....	60
4.4	Estratégia de ensino	62
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo será abordado o tema principal do atual trabalho, uma breve contextualização do conteúdo, a importância da temática, e resumidamente a metodologia e os objetivos.

1.1. Escopo

Marcato (2022) avaliou as demandas e perspectivas da formação de engenheiros químicos em relação a temática da sustentabilidade analisando diferentes projetos pedagógicos, e concluiu que atualmente é necessário que o engenheiro possua vasto conhecimento e competências além de formação técnica robusta, visto que aqueles que já atuam no mercado lidam com a temática em seu dia a dia, e aqueles que ainda estão na universidade não se sentem preparados e incentivados a aprender sobre o tema. Com base nessa problemática, é necessário o desenvolvimento de visão holística e humanista, visão multidisciplinar, comprometimento com a responsabilidade social e o desenvolvimento sustentável, entre outras competências que estão alinhadas as novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) de 2019 para os cursos de graduação em engenharia. As DCNs estabelecem o que se espera do perfil e competências do profissional formado, da organização do curso de graduação, da avaliação das atividades e do corpo docente. É necessário, portanto, desenvolver estratégias de ensino que permitam aos estudantes adquirir as habilidades necessárias para compreender e aplicar conceitos relacionados a sustentabilidade.

O aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) resultantes das atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis, desmatamento e processos industriais, tem levado a um aquecimento global progressivo do planeta, conhecido como efeito estufa. Como resultado disso, as mudanças climáticas têm efeitos significativos em diversos setores da sociedade, incluindo a indústria química. A Confederação Nacional da Indústria (CNI) reconhece as mudanças climáticas como uma parte essencial da visão de médio e longo prazo da indústria nacional.

Segundo Bastianoni *et al.* (2014), para limitar as emissões de GEE são necessárias ferramentas adequadas para acompanhamento e quantificação das emissões, bem como a mitigação e adaptação. Neste contexto, a principal motivação para o desenvolvimento do atual trabalho é que o egresso finalize o curso de engenharia química capacitado para contribuir com

a mitigação e adaptação as mudanças climáticas, abordando os conteúdos que vão contribuir para os seguintes aprendizados:

1. Conhecimento sobre protocolos, diretrizes e métricas relacionadas a emissões;
2. Conhecimento sobre governança climática;
3. Conhecimento técnico para quantificar emissões, identificando as principais fontes e seu impacto ambiental;
4. Identificar fontes diretas e indiretas de geração de poluentes associados a um processo ou produto;
5. Desenvolver capacidade analítica para apresentar estratégias para minimizar/evitar impactos devidos a um determinado processo químico;
6. Explorar novas tecnologias que visam a eliminação dos poluentes e a possibilidade de uso de matérias primas renováveis.

Atualmente o contexto de mudanças climáticas impactam nos aspectos gerenciais de uma empresa, principalmente na definição de metas, governança e conseqüentemente na gestão. No Brasil, este novo conceito de gestão climática está começando a ser implementado e conta com o Programa Brasileiro do *GHG Protocol*. O *GHG Protocol* é uma metodologia globalmente aceita para contabilizar e relatar as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Foi desenvolvido pela iniciativa do *World Resources Institute (WRI)* e do *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)*, em parceria com governos, organizações não governamentais e empresas do setor privado.

As mudanças climáticas têm se tornado um dos maiores desafios globais enfrentados pela sociedade atualmente. Diante desse contexto, é cada vez mais importante quantificar e gerenciar as emissões de carbono, como parte dos esforços para mitigar os efeitos das mudanças climáticas, sendo esse um dos objetivos deste trabalho, em conjunto com o estudo teórico, compreensão de metodologias, apresentação de alternativas para ensino e aprendizagem.

1.2. Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo elaborar um material de suporte sobre sustentabilidade, a fim de compreender teorias e conceitos necessários para contribuir com a

capacitação dos engenheiros químicos. Com base na pesquisa bibliográfica crítica e os métodos de quantificação de carbono, propõe-se a resolução de um estudo de caso para demonstrar um método de quantificação de emissão de carbono para a unidade industrial fictícia, estruturada a partir do conteúdo de disciplinas do curso de graduação, apresentando também planos de ação para contribuir para a gestão e redução das emissões. Por fim, através desse estudo, pretende-se desenvolver uma estratégia de ensino e aprendizagem que possa contribuir para a reformulação do curso de Engenharia Química da UFSCar de acordo com as novas diretrizes curriculares nacionais, incluindo alternativas para abordar a temática de sustentabilidade de forma prática na formação dos engenheiros químicos do curso.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será abordado todo conteúdo teórico necessário para a realização dos objetivos do trabalho.

2.1. Mudanças climáticas

Mudança climática é uma mudança atribuída direta ou indiretamente à atividade humana que altere a composição da atmosfera global e que seja adicional à variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis. Atualmente este tema é uma preocupação política mundial e vem ganhando visibilidade nos discursos científicos e políticos. Os vários cenários de mudanças climáticas são decorrentes principalmente das emissões de gases do efeito estufa (GEE), como por exemplo, o dióxido de carbono, metano, e óxido nitroso. Isto ocorre porque com o acúmulo desses gases, maior quantidade de calor está sendo retida na atmosfera, resultando no aumento de temperatura, fenômeno conhecido como efeito estufa (KLUG; MARENGO; LUEDEMANN, 2016).

Entender como ocorre o efeito estufa, assim como a complexidade envolvida, passa por entender como ocorre o balanço de energia na atmosfera (DIAS, 2006). A atmosfera terrestre é composta basicamente de uma mistura de gases, sendo 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio e 1% de argônio. Além disso, são encontrados traços de gás carbônico, vapor d'água e outros gases, mas em quantidades bem pequenas. Segundo Ayoade (2003), o vapor d'água, o ozônio e

o dióxido de carbono cumprem funções importantes na distribuição e troca de energia na atmosfera e entre a superfície da Terra e a atmosfera, porque absorvem, refletem e difundem tanto a radiação solar como a terrestre, em diferentes faixas do espectro eletromagnético. Pelo fato de a atmosfera ser altamente compressível, suas camadas inferiores são muito mais densas do que as superiores, isto é, o ar se torna rarefeito na medida em que a distância em relação à superfície vai aumentando.

O efeito estufa é um fenômeno natural do planeta, sendo responsável por manter a temperatura média adequada da superfície terrestre. Isso acontece porque gases, principalmente o dióxido de carbono, metano e óxido nitroso, funcionam como uma barreira para a radiação solar, impedindo que a maior parte da radiação infravermelha saia da atmosfera e escape para o espaço, retendo o calor solar na atmosfera, impedindo que ele escape para o espaço. No entanto, a atividade humana, como a queima de combustíveis fósseis e a degradação florestal, tem aumentado a concentração desses gases na atmosfera, intensificando o efeito estufa e contribuindo para o aquecimento global. As consequências do aumento desse fenômeno são graves para o clima e o meio ambiente, resultando no aumento do nível do mar, na intensificação de tempestades, secas e inundações.

O impacto dos gases de efeito estufa pode ser expresso em termos de métricas de emissões. As métricas de emissões permitem comparar o efeito potencial da emissão de vários gases-estufa e auxiliam nas formulações de políticas públicas, em relação às mudanças do clima. A contribuição efetiva de cada gás na atmosfera deve ser ponderada pelo seu peso molecular, seu tempo médio de permanência na atmosfera e pelo efeito de aquecimento cumulativo de cada gás.

O IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima), criado em 1988 para fornecer aos governos informações científicas que possam ser usadas para desenvolver políticas climáticas, adotam métricas para as emissões como o Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential*, GWP), Potencial de Temperatura Global (*Temperature Potential*, TP) e Dióxido de Carbono Equivalente (CO₂e). O GWP é uma medida que compara o potencial de aquecimento global de um gás de efeito estufa com o do dióxido de carbono em um horizonte de tempo específico, geralmente 100 anos. Ele leva em conta a capacidade do gás de reter o calor na atmosfera, sua vida útil na atmosfera e a quantidade de calor que ele pode reter em

comparação com o dióxido de carbono. Essa métrica fornece uma unidade de medida comum, que permite aos analistas somar estimativas de emissões de diferentes gases, para compilar, por exemplo, um inventário de gases do efeito estufa. (EPA, 2022).

O dióxido de carbono, por definição, tem GWP de 1 independentemente do período de tempo utilizado, pois é o gás o utilizado como referência. O metano emitido hoje dura em média cerca de uma década, o que é muito menos tempo do que o dióxido de carbono. Mas o metano também absorve muito mais energia do que o dióxido de carbono. O efeito líquido da vida útil mais curta e maior absorção de energia é refletido no GWP. Estima-se que o metano tenha um GWP de 27-30 ao longo de 100 anos, logo o metano é cerca de 28 vezes mais potente que o CO₂ em termos de aquecimento global. Essa medida é utilizada para facilitar a comparação entre diferentes gases de efeito estufa, como metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), que têm diferentes potenciais de aquecimento global em relação ao dióxido de carbono (EPA, 2022).

O TP (Potencial de Temperatura Global) é uma medida do quanto um gás de efeito estufa contribui para o aumento da temperatura global, levando em consideração o tempo que leva para atingir o aquecimento máximo e a magnitude total desse aquecimento. Ele é expresso em graus celsius por unidade de massa de gás emitido (EPA, 2022).

O dióxido de carbono equivalente (CO₂e) é uma medida que converte as emissões de diferentes gases de efeito estufa para sua equivalência em dióxido de carbono, para permitir a comparação entre eles em termos de impacto climático. O CO₂e é calculado multiplicando as emissões de um determinado gás de efeito estufa pelo seu GWP. A tabela 2.1 abaixo tem alguns exemplos de gases e seus respectivos valores de GWP (EPA, 2022).

Tabela 2.1. Exemplo de Gases e seu respectivo GWP.

Gás	GWP
Dióxido de carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	28
Óxido nitroso (N ₂ O)	265
HFC-32	677
HFC-134a	1300

Fonte: Adaptado de CETESB (2023).

2.2. Gases do efeito estufa

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (CQNUAC) define “gases com efeito de estufa” como aqueles gases, naturais e antropogênicos, constituintes da atmosfera, que absorvem radiação infravermelha. Para cada 100 unidades de radiação solar chegando ao longo de um ano, no topo da atmosfera, ocorre uma distribuição pelos diversos processos de absorção, reflexão e transmissão de radiação.

2.2.1 Dióxido de carbono

Responsável por cerca de 60% do efeito-estufa, cuja permanência na atmosfera é de pelo menos centena de anos, o dióxido de carbono é proveniente da queima de combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo, gás natural, turfa), queimadas e desmatamentos, que destroem reservatórios naturais e sumidouros, que tem a propriedade de absorver o CO₂ do ar. É importante ressaltar que as emissões de CO₂ no Brasil estão intimamente ligadas a questões como o uso da terra, agropecuária, indústria e transporte, bem como às políticas e práticas de manejo ambiental e conservação (CETESB, 2023).

Embora o país tenha uma grande parcela de sua eletricidade gerada a partir de fontes renováveis, como hidrelétricas, a queima de combustíveis fósseis em usinas termelétricas ainda é responsável por uma parcela significativa das emissões. Além disso, o desmatamento, a aplicação de fertilizantes e o manejo inadequado do solo na agricultura também podem resultar na emissão de gases de efeito estufa, incluindo o CO₂.

A queima de combustíveis fósseis em processos industriais, como a produção de siderurgia, cimento, químicos e papel, é uma das principais fontes de emissões nesse setor. E o setor de transporte é uma fonte crescente de emissões de CO₂ no Brasil, especialmente devido ao aumento da frota de veículos e ao transporte rodoviário de carga.

2.2.2 Metano

Representado pela fórmula molecular CH_4 , o metano, que também é chamado de gás dos pântanos, é um gás incolor e inodoro (sem cheiro). Ele possui pouca solubilidade em água e, quando adicionado ao ar, pode ser altamente explosivo (eCycle, 2022).

As principais fontes antropogênicas de emissão de metano incluem a agricultura, principalmente a produção de gado ruminante (como vacas e bois), decomposição de resíduo orgânico (aterros sanitários e lixões), processos industriais, metabolismo de certos tipos de bactérias, vulcões, extração de combustíveis minerais (principalmente o petróleo), produção de combustíveis fósseis (gás e carvão), queima de combustíveis fósseis (veículos), aquecimento ou combustão de biomassa anaeróbica. O gás metano também é encontrado como componente principal nas exalações naturais de regiões petrolíferas, existindo dentro de cavidades de jazidas de carvão mineral (eCycle, 2022)

2.2.3 Dióxido de nitrogênio

O óxido nítrico é um gás incolor e não inflamável em temperatura ambiente, sendo muito conhecido como gás hilariante ou nitro. Produzido naturalmente no meio ambiente ou em indústrias para diversas aplicações, o aumento da concentração desse gás tem sido responsável por destruir a camada de ozônio e pode causar intensificação do efeito estufa (eCycle, 2022).

Dentre os setores que mais emitem óxido nítrico, a agricultura é o maior responsável pela emissão anual. Para esse setor, não é contabilizado apenas a emissão direta a partir da aplicação de fertilizantes, mas também as emissões diretas e indiretas provenientes do processo de produção de fertilizantes sintéticos, de esterco animal, animais criados em pastos, lixiviação e manejo de esterco. Veículos e aviões também são fontes de emissão de óxido nítrico, mesmo sendo pouco relevantes em comparação com a emissão de CO_2 que proporcionam. Nas indústrias, há como fontes a fabricação de fertilizantes, ácido adípico, explosivos e o processamento de metais ferrosos, por exemplo. Outra importante fonte são as queimadas para o avanço da agricultura e pecuária e queima de biomassa para geração de energia (eCycle, 2022).

2.2.4 Hidrofluorcarbonos, perfluorcarbonos e hexafluoreto de enxofre

Atualmente, as principais fontes de liberação de hidrofluorcarbonetos estão vinculadas ao seu emprego como fluido refrigerante em sistemas de refrigeração e ar condicionado. Emissões menores também surgem de usos como em extintores de incêndio, fabricação de espumas, solventes e até mesmo em equipamentos esportivos, entre outras aplicações (EPA, 2012).

O hexafluoreto de enxofre é liberado devido à sua utilização como isolante em equipamentos de distribuição e transmissão de eletricidade, bem como na produção de alumínio, monitores planos e semicondutores. Por sua vez, os perfluorcarbonetos são emitidos durante a produção de alumínio, semicondutores, monitores de tela plana, células fotovoltaicas e outras atividades afins (EPA, 2012).

2.2.5 Vapor de água

O vapor de água é o gás de efeito estufa mais abundante na atmosfera. Interações físicas do vapor d'água na atmosfera são responsáveis por balanço energético e conseqüentemente térmico. Segundo Ometto (1981), a maneira como se agrupam os átomos na molécula do vapor d'água, possibilita uma estrutura capaz de interagir fortemente com radiações eletromagnéticas emitidas por corpos que se encontram a temperatura do meio ambiente. Essa propriedade faz com que o vapor d'água seja um armazenador de energia e, sua condição de encontrar-se dissociado no ar atmosférico possibilita sua movimentação juntamente com a deslocação do ar. A consequência disto é ser o vapor d'água um equalizador de energia do meio, amenizando, devido a isso as trocas de energia. Ou seja, é um grande absorvedor de radiação infravermelha e, juntamente com o gás carbônico, é o principal responsável pela retenção de boa parte da radiação emitida pela Terra.

A porcentagem do vapor na atmosfera pode variar entre 1 a 4% em volume da mistura total, pois para uma dada pressão e temperatura, o ar consegue reter o vapor d'água até uma certa concentração limite. O ar é dito saturado quando o vapor d'água ocorre na sua concentração máxima na atmosfera. Para o mesmo valor de pressão, essa concentração máxima ou de saturação cresce com o aumento de temperatura. Portanto, quanto maior a temperatura, maior é a capacidade do ar em reter vapor d'água. (TUBELIS, 1983).

Logo, o vapor de água atmosférico tem um papel importante no aquecimento e no resfriamento, sendo assim um regulador térmico. Conforme descrito no IPCC (2013), a quantidade de vapor de água na atmosfera é controlada principalmente pela temperatura do ar, e não pelas emissões. O grupo de cientistas o consideram um agente de feedback, ao invés de agente de forçamento das mudanças climáticas.

2.3. Relatórios do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

Na década de 1980, a comunidade científica começou a produzir evidências cada vez mais convincentes sobre a influência humana na mudança do clima, e muitos líderes políticos e ambientais começaram a reconhecer a necessidade de informações científicas confiáveis e imparciais sobre a mudança do clima, e seus potenciais impactos ambientais e socioeconômicos. Para cumprir esses objetivos, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) uniram esforços para estabelecer o IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas). Sua estrutura é dividida em cinco partes. Enquanto as principais decisões são tomadas por uma assembleia de representantes dos governos, as revisões e relatórios do IPCC são efetuados por três grupos de trabalho (grupo de trabalho I, II, III), uma força-tarefa e um grupo-tarefa (IPCC, 2023).

Os principais temas avaliados pelo Grupo de Trabalho I incluem as mudanças nos gases do efeito estufa e aerossóis na atmosfera, as mudanças observadas no ar, terra e nas temperaturas do oceano, as chuvas, as geleiras e camadas de gelo, os oceanos e o nível do mar; perspectiva histórica e paleoclimáticas sobre as alterações climáticas; biogeoquímica, ciclo de carbono, gases e aerossóis, dados de satélite e outros dados, os modelos climáticos; projeções climáticas, causas e atribuição das mudanças climáticas (IPCC, 2023).

O grupo de trabalho II avalia a vulnerabilidade dos sistemas naturais e socioeconômicos frente às mudanças climáticas, consequências negativas e positivas das mudanças climáticas, e opções para se adaptar a ela. Ele também leva em consideração a inter-relação entre vulnerabilidade, adaptação e desenvolvimento sustentável. As informações avaliadas são consideradas por setores de recursos (água, ecossistemas, alimentos e florestas; sistemas

costeiros, a indústria, a saúde humana) e regiões (África, Ásia, Austrália e Nova Zelândia, Europa, América Latina, América do Norte, Regiões Polares; Pequenas Ilhas) (IPCC, 2023).

O grupo de trabalho III avalia as opções para mitigar a mudança climática através limitação ou mitigação das emissões de gases com efeito de estufa e aumento das atividades que removem esses gases da atmosfera. Os principais setores econômicos são levados em conta, tanto numa perspectiva de curto prazo como de longo prazo. Os setores inclusos são de energia, dos transportes, construção, indústria, agricultura, silvicultura, gestão de resíduos. Este grupo de trabalho analisa os custos e benefícios das diferentes abordagens para a mitigação, considerando também os instrumentos e medidas políticas. A abordagem é cada vez mais orientada (IPCC, 2023).

A Força-Tarefa para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa (TFI) foi estabelecida pelo IPCC para supervisionar o *IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme* (IPCC-NGGIP). O objetivo da força-tarefa é trabalhar com os Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa e desenvolver e refinar uma metodologia para o cálculo e relato das emissões e das remoções nacionais de GEE, além de incentivar a sua utilização pelos países participantes do IPCC e das partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática (UNFCCC). O NGGIP também estabeleceu e mantém um banco de dados dos fatores de emissão (eCycle, 2022).

O Grupo de Trabalho dos dados e suporte aos cenários de impactos e Análise Climática (TGICA) foi criado para facilitar a cooperação entre a modelagem climática e as comunidades avaliação dos impactos do clima. Ele visa facilitar a ampla disponibilidade de dados relativos às alterações climáticas e cenários para a análise do clima e impactos, adaptação e vulnerabilidade, mitigação e pesquisa.

De acordo com o relatório do IPCC, mudanças climáticas são "alterações significativas na distribuição da temperatura da Terra e nos seus padrões climáticos que têm duração suficientemente longa para ultrapassar as variações naturais do clima". O IPCC identifica a atividade humana, especificamente a emissão de gases de efeito estufa, como a principal causa dessas mudanças climáticas. O IPCC fornece evidências científicas e informações sobre as mudanças climáticas e seus impactos, incluindo o aumento da temperatura global, o aumento do nível do mar, mudanças no clima e no ciclo da água, e a extinção de espécies. O relatório

também destaca as ações que podem ser tomadas para mitigar e adaptar-se às mudanças climáticas.

Quando são citadas medidas de mitigação, trata-se de como o IPCC define a “intervenção humana para reduzir as fontes ou aumentar os drenos de GEEs” (IPCC, 2013). Para as medidas de mitigação, trata-se da mitigação da geração do problema, não dá mitigação de seus efeitos. Em relação aos efeitos, o termo adaptação, tema da seção 4, é definido como “o processo de ajustamento ao clima atual ou projetado e seus efeitos” (IPCC, 2013).

No sexto relatório de avaliação do IPCC, 278 cientistas de 65 países mostram que, para que tenhamos a chance de manter ao alcance o limite de 1,5°C estabelecido pelo Acordo de Paris, o mundo deve atingir o pico de emissões de gases do efeito estufa (GEE) dentro dos próximos três anos. Este último relatório publicado apresentou que as emissões globais de GEE continuam aumentando, mas para limitar o aquecimento a 1,5°C, precisam parar de crescer em 2025. O IPCC 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 – 340 Gt acima do limite. (*World Resources Institute, 2022*).

Em todo o mundo, as famílias com renda no topo da pirâmide (os 10% mais ricos, o que inclui grande parte das famílias nos países desenvolvidos) são responsáveis por entre 36% e 45% do total de emissões de GEE. Enquanto isso, as famílias cuja renda se posiciona nos degraus inferiores (50%) respondem por apenas 13% a 15% das emissões. Por outro lado, mudar os padrões de consumo, particularmente entre os mais ricos, poderia reduzir as emissões de GEE de 40% a 70% até 2050 em comparação às políticas climáticas atuais. (*World Resources Institute, 2022*).

Conforme o relatório do IPCC, promover o acesso universal à energia moderna para as populações mais pobres em todo o mundo não teria um impacto significativo nas emissões globais, todas as trajetórias que limitam o aquecimento a 1,5°C (com ou sem excedente) dependem da remoção de carbono. Essas abordagens podem incluir tanto soluções naturais, como o sequestro e armazenamento de carbono em árvores e no solo, quanto tecnologias que

fazem a captura do CO₂ diretamente da atmosfera. Em curto prazo, restaurar sumidouros naturais de carbono, como as florestas, é uma abordagem já disponível e de bom custo benefício que, se implementada de forma adequada, pode oferecer uma ampla gama de resultados positivos às comunidades próximas. O mundo precisa atingir o pico das emissões de GEE até 2025, reduzir essas emissões quase pela metade até 2030, atingir o zero líquido até meados do século e, ao mesmo tempo, assegurar uma transição justa e equitativa (*World Resources Institute, 2022*).

2.4. Impacto das mudanças climáticas nos ecossistemas

As mudanças climáticas podem ser identificadas por uma ampla gama de fenômenos e condições meteorológicas extremas que ocorrem em todo o mundo. Estes fenômenos interferem nos processos de adaptação das espécies, composição e competitividade, e no aparecimento de doenças. A grande velocidade das alterações impede e/ou dificulta a migração e respostas adaptativas das espécies. No nível de espécies e populações, de maneira geral, as alterações de temperatura e chuva podem prejudicar o desenvolvimento e taxas reprodutivas, aumentar a mortalidade, afetar a imunidade a doenças, reduzir a mobilidade, entre outros efeitos, podendo acelerar a taxa de extinção reduzindo assim a diversidade de espécies.

As florestas são impactadas pelo aumento da concentração atmosférica de CO₂, pelas mudanças nos regimes de temperatura e variações nos padrões anuais de chuva. Além disso, há o aumento da ocorrência de incêndios florestais. Isso pode levar à perda de habitats para animais e plantas e à redução da biodiversidade, transformando sumidouros de carbono, como florestas tropicais, em fontes de carbono.

O aquecimento promove a expansão termal das águas dos oceanos e o derretimento das geleiras e calotas de gelo. Nas regiões polares as calotas de gelo estão derretendo a uma taxa alarmante. Isso afeta a disponibilidade de água doce para as pessoas e os animais que dependem desses ecossistemas. O aumento da temperatura da água dos oceanos está levando à morte de recifes de coral e outras espécies marinhas. O aquecimento também contribui para o derretimento das capas de gelo e neve permanente de cadeias montanhosas em taxas bastante altas, o que poderia promover catástrofes como inundações de áreas localizadas no sopé.

A acidificação dos oceanos também está afetando a vida marinha, tornando mais difícil para muitas espécies sobreviverem. A acidificação dos oceanos ocorre quando, por meio de um conjunto de reações químicas, a água do mar absorve CO₂. O excesso de gás carbônico dissolvido, absorvido pelos oceanos, altera a química da água do mar pelo aumento na formação de ácido carbônico e, em consequência disto, ocorre a diminuição do pH da água. A acidez da água afeta os animais que produzem conchas ou outras estruturas calcárias, como os corais, tendo efeito corrosivo. Isso afeta o modo de vida, reprodução e distribuição desses organismos. Os impactos da acidificação também chegam para os ecossistemas de corais, o que leva à perda da biodiversidade, perdas nos recursos pesqueiros e nas atividades econômicas relacionadas ao turismo.

Além disso, as mudanças climáticas estão afetando os ecossistemas de água doce, aumentando a frequência de secas e enchentes. Isso afeta a qualidade da água e pode levar à perda de habitats para muitas espécies. O aumento do nível do mar, e da frequência e intensidade das tempestades e ciclones estão causando erosão de ecossistemas costeiros. (MARENGO e SCARANO, 2017).

Todos esses eventos climáticos extremos além de impactar os ecossistemas também impactam a população. Secas, enchentes, tempestades e furacões afetam a segurança alimentar, o abastecimento de água, a saúde e a segurança das pessoas, sendo cada vez mais comum a migração de pessoas em busca de trabalho e segurança, surgindo o termo “refugiados do clima”. Os refugiados do clima são pessoas que são forçadas a se deslocar devido aos impactos das mudanças climáticas (MARENGO e SCARANO, 2017).

2.5. Governança climática

. A governança climática é o conjunto de políticas, práticas e processos que são adotados para garantir a implementação efetiva de ações para a mitigação e adaptação aos impactos das mudanças climáticas. Além disso, inclui a divulgação e transparência de informações climáticas por parte das empresas, a participação ativa da sociedade civil nas decisões climáticas, e a integração de questões climáticas em estratégias empresariais e financeiras.

As mudanças climáticas são um dos maiores desafios globais da atualidade, logo, é necessário garantir que as ações de mitigação sejam implementadas de forma justa e equitativa, e para assegurar que os benefícios dessas ações sejam distribuídos de maneira igual entre as comunidades e os países. Portanto, a implementação de políticas climáticas nacionais e internacionais, como acordos internacionais, regulamentações climáticas, sistemas de comércio de carbono são medidas importantes para o estabelecimento de metas e compromissos concretos para a proteção do meio ambiente e para a promoção do desenvolvimento sustentável. Essas metas ajudam a orientar as políticas públicas, ações e investimentos em nível global e nacional, e incentivam a cooperação internacional e o diálogo entre os países, promovendo a troca de informações, experiências e tecnologias.

Existem diversos acordos e eventos de sustentabilidade que foram estabelecidos ao longo do tempo. O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) foi criado em 1972, durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo, Suécia. Esta foi a primeira grande reunião internacional sobre meio ambiente e reuniu representantes de mais de 100 países, além de organizações não governamentais e outros grupos interessados no tema. O PNUMA é uma agência especializada da Organização das Nações Unidas (ONU), responsável por liderar a ação global em questões ambientais e trabalhar com os países para desenvolver políticas, programas e projetos que ajudem a proteger o meio ambiente e os recursos naturais do planeta. O programa também promove a cooperação internacional e a troca de informações e experiências entre os países, incentivando a adoção de práticas mais sustentáveis em todo o mundo (CETESB PROCLIMA, 2023).

Em 1985 temos a adoção da Convenção de Viena sobre a Proteção da Camada de Ozônio, um tratado internacional que entrou em vigor em 1988. Essa convenção reconheceu que a camada de ozônio estava sendo ameaçada pela emissão de gases que contêm cloro e bromo, como os clorofluorocarbonos (CFCs) e os halons, que eram amplamente utilizados em refrigeradores, sistemas de ar condicionado, aerossóis, entre outros produtos. Esses gases são liberados na atmosfera e reagem com o ozônio, causando sua degradação. Em 1987, um protocolo adicional à Convenção foi estabelecido em Montreal, o Protocolo de Montreal. O Protocolo de Montreal estabeleceu metas para a eliminação gradual da produção e consumo de CFCs e outras substâncias que destroem a camada de ozônio, estabeleceu também um fundo

financeiro para ajudar os países em desenvolvimento a adotarem tecnologias mais limpas e seguras. O Protocolo é até hoje o único tratado das Nações Unidas a ser ratificado por todos os países do planeta. O documento assinado pelos países parte impôs obrigações específicas, em especial a progressiva redução da produção e consumo das substâncias que destroem a camada de ozônio até sua total eliminação (MCTI, 2019).

Em 1992, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como Cúpula da Terra, acontece no Rio de Janeiro, Brasil, de 3 a 14 de junho. Vários acordos ambientais importantes são estabelecidos, incluindo a Agenda 21. A Agenda 21 Brasileira tem por objetivo instituir um modelo de desenvolvimento sustentável a partir da avaliação das potencialidades e vulnerabilidades de nosso país, determinando estratégias e linhas de ação cooperadas ou partilhadas entre a sociedade civil e o setor público (Summit Mobilidade, 2021).

O Protocolo de Kyoto é um acordo internacional firmado em 1997 durante a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, com o objetivo de combater o aquecimento global, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa na atmosfera. O acordo entrou em vigor em 2005 e tem duração até 2020. O protocolo estabeleceu metas de redução de emissões de gases de efeito estufa para os países industrializados, responsáveis pela maior parte das emissões no mundo (Summit Mobilidade, 2021).

Em 2000 temos a Cúpula do Milênio, que foi uma reunião de chefes de Estado e de governo das Nações Unidas, realizada na sede da ONU em Nova York. O objetivo da cúpula era adotar uma série de medidas para combater a pobreza extrema, a fome, a falta de acesso à educação e à saúde, entre outros problemas globais. Durante a cúpula, foi adotada a declaração do milênio, que estabeleceu os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) (ODM Brasil, 2023). Os ODM eram um conjunto de oito objetivos que deveriam ser alcançados e incluíam:

1. Erradicar a pobreza extrema e a fome;
2. Alcançar a educação primária universal;
3. Promover a igualdade entre os gêneros e a autonomia das mulheres;
4. Reduzir a mortalidade infantil;
5. Melhorar a saúde materna;
6. Combater o HIV/Aids, a malária e outras doenças;

7. Garantir a sustentabilidade ambiental;
8. Estabelecer uma parceria global para o desenvolvimento.

Em 2002 acontece a Rio+10. Foi uma tentativa da ONU de reavaliar e implementar as conclusões e diretrizes obtidas na Rio-92. Finalizou com alguns poucos avanços, como a aprovação, no campo da biodiversidade, da criação de um sistema internacional para divisão, com os detentores de recursos naturais e conhecimentos tradicionais, dos lucros obtidos pelos países ricos com o uso desses recursos. Em 2012 acontece a Rio+20 na Cidade do Rio de Janeiro. A conferência teve dois temas principais, sendo eles a economia verde no contexto do desenvolvimento sustentável e da erradicação da pobreza e a estrutura institucional para o desenvolvimento sustentável. Em 2015, os ODM foram substituídos pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que incluem 17 objetivos mais amplos e ambiciosos, com o objetivo de serem alcançados até 2030 com a adoção do Acordo de Paris (Todamateria, 2023).

A COP26 foi realizada em novembro de 2021, em Glasgow, Reino Unido. O principal objetivo da COP26 foi garantir que os países se comprometam a reduzir as emissões de gases de efeito estufa de forma significativa para limitar o aumento da temperatura global a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais. No final da COP26, os países concordaram em um documento conhecido como Acordo de Glasgow, no qual se comprometeram a adotar medidas mais ambiciosas para combater a mudança climática. A 27ª edição da Conferência do Clima (COP 27) aconteceu em Sharm El-Sheikh, Egito, em 2022, quatro itens fundamentais para o progresso do combate à crise climática estão na agenda: a aceleração da ambição das metas de corte de emissão de gases de efeito estufa, criação de um mecanismo próprio de financiamento às perdas e danos climáticos, a discussão de uma meta global de adaptação à mudança do clima e o aumento das promessas dos países ricos de fornecer dinheiro para ação climática nos países pobres. (Neoenergia, 2022).

Esses são alguns eventos que reuniram líderes mundiais, especialistas em sustentabilidade, representantes da sociedade civil e empresas para discutir questões críticas de sustentabilidade, compartilhar melhores práticas e criar soluções para um futuro mais sustentável.

2.6 Metodologias e programas para quantificação de emissões e elaboração de relatórios.

A crescente preocupação com as mudanças climáticas faz com que ONG's, investidores e outras partes interessadas, necessitem de maior divulgação por parte das empresas sobre as emissões de GEE. Logo, um número crescente de empresas está preparando relatórios contendo informações sobre emissões de GEE para divulgação.

O eixo central da governança corporativa internacional relacionada às Mudanças Climáticas é dado, principalmente, pelo Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (*World Business Council for Sustainable Development*) e pelo Instituto de Recursos Mundiais (*World Resource Institute*). As organizações estão trabalhando em conjunto com corporações privadas, governos e grupos ambientais, para construir programas de quantificação e redução de emissões de GEE.

Dentre as iniciativas internacionais podemos citar o CDP (*Carbon Disclosure Project*), é uma organização sem fins lucrativos cujo objetivo é criar uma relação entre acionistas e empresas, incentivando empresas, cidades e estados a medir e divulgar suas emissões de gases de efeito estufa e a tomar medidas para reduzir essas emissões. O CDP realiza anualmente uma pesquisa global sobre a gestão das mudanças climáticas nas empresas, onde são avaliados diversos aspectos, tais como a estratégia empresarial em relação ao clima, a governança, as metas e objetivos de redução de emissões, a gestão de riscos e oportunidades relacionadas ao clima, entre outros. Com base nas respostas das empresas à pesquisa, é elaborado um ranking global das empresas que estão liderando no tema de gestão das mudanças climáticas (CDP, 2023).

Em 2006, a *International Organization for Standardization* criou a ISO 14.064 que fornece parâmetros para monitoramento, quantificação e divulgação de redução de emissões de GEE em inventários e projetos. A ISO 14064 é composta por três partes (ABNT NBR ISO 14064, 2007):

- ISO 14064-1: especifica os requisitos para a quantificação e relato de emissões de GEE e remoções por sumidouros de carbono em nível de organização.
- ISO 14064-2: estabelece os requisitos para a quantificação e verificação de projetos de redução de emissões de GEE.

- ISO 14064-3: fornece orientação para a validação e verificação de relatórios de inventários de emissões de GEE.

A parte 2 da ISO 14064 estabelece uma abordagem em três etapas para a quantificação e relato de emissões de GEE de uma organização:

- Planejamento: A organização deve estabelecer o escopo do inventário de GEE, definir os limites organizacionais e operacionais e selecionar as fontes e métodos de cálculo das emissões.
- Implementação: A organização deve coletar dados sobre as emissões de GEE, calcular as emissões e verificar a qualidade dos dados. O cálculo das emissões deve ser baseado em fatores de emissão reconhecidos, como os fatores de emissão do IPCC, ou em dados específicos da organização, como consumo de energia e combustíveis.
- Verificação: A organização deve verificar a precisão e a integridade das informações de emissões e do inventário de GEE por meio de um processo de revisão por um terceiro independente. A verificação pode ser realizada internamente ou por um verificador externo.

Há também o *Global Reporting Initiative (GRI)*, uma organização que desenvolveu o modelo de divulgação de sustentabilidade mais utilizado no mundo. O GRI é uma estrutura de relato de sustentabilidade que fornece orientação para a divulgação de informações relacionadas à sustentabilidade, incluindo as emissões de GEE. Além disso, ele fornece orientação para a divulgação de informações sobre as emissões de GEE em suas diretrizes, incluindo o uso da abordagem de inventário corporativo de GEE (*Corporate GHG Inventory Standard*), que se baseia na metodologia do IPCC.

Lançado em 2000, o Pacto Global é uma plataforma para empresas se comprometerem a alinhar suas atividades com os dez princípios universais da ONU nas áreas de direitos humanos, trabalho, meio ambiente e combate à corrupção. O Pacto Global não é um instrumento regulatório e sim uma iniciativa voluntária que se baseia em prestação de contas públicas, transparência e divulgação para complementar regulações e fornecer um espaço para inovações.

O *GHG Protocol* é um conjunto de padrões internacionais para contabilização e relato de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Ele foi desenvolvido em 1998 pelo *World Resources*

Institute (WRI) e pelo *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD), em colaboração com outras organizações. Em 2006, a ISO adotou o *GHG Protocol Corporate Standard* como base para a ISO 14.064-1. O *GHG Protocol* consiste em dois módulos:

- Contabilidade corporativa (*Accounting*) e padrões de comunicação (*Reporting*): metodologias para empresas e outras organizações inventariarem e reportarem todas as emissões de GEE geradas.
- Protocolo e *Guidelines* para contabilidade de projetos: voltado para o cálculo de redução de emissões de GEE através de projetos específicos de redução de GEE.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) também é uma metodologia que permite quantificar emissões e pode ser uma importante estratégia. Ela é mais abrangente pois considera não apenas as emissões de gases de efeito estufa, mas também outros impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida de um produto, processo ou serviço. Isso inclui a análise das emissões de outros gases de efeito estufa além do carbono, o consumo de energia, o uso de recursos naturais, a geração de resíduos, a poluição e outros impactos ambientais relevantes.

No âmbito da ACV é comum encontrar três termos: *cradle-to-gate* (do berço ao portão), *cradle-to-grave* (do berço ao túmulo) e *cradle-to-cradle* (do berço ao berço). Em suma, a análise *cradle-to-gate* é aquela que se preocupa com o processo que abrange desde o nascimento dos elementos que compõe um produto até sua saída da empresa (portão). Já o conceito de *cradle-to-grave* tem o diferencial de se preocupar com o produto até o fim da sua vida, após o uso dos consumidores finais (túmulo). Por fim, o conceito de *cradle-to-cradle* é basicamente o conceito de uma economia circular, onde um produto em fim de uso é reciclado e utilizado como matéria-prima para novos produtos (PALHOSA, 2021).

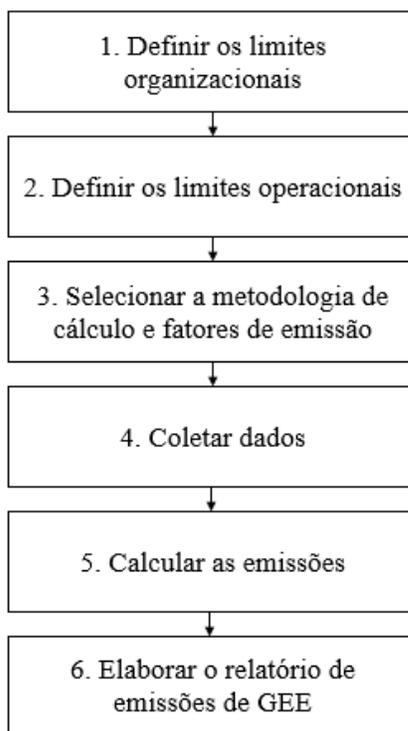
A iniciativa Science-Based Targets (SBTi) fornece orientação, recursos e suporte para ajudar as empresas a desenvolver e validar suas metas de redução de emissões baseadas em fundamentos científicos. As empresas que aderem ao SBTi se comprometem a implementar estratégias que contribuam com os esforços globais no enfrentamento das mudanças climáticas (eCycle, 2022).

2.7 Inventário de emissões utilizando *GHG Protocol*

O *GHG Protocol* se tornou uma referência global para a contabilidade de emissões de GEE, sendo utilizado por governos, empresas e organizações não governamentais em todo o mundo. Existem duas normas principais dentro desse programa, a norma de escopo 1, 2 e 3, que orienta a contabilização das emissões de GEE provenientes das atividades diretas e indiretas das organizações, e a norma de projetos de GEE, que orienta a contabilização das emissões evitadas ou reduzidas por projetos específicos de redução de emissões. A contabilidade por entidade combina dados de emissões de todas as operações de uma entidade (a maioria das emissões já ocorreu) e esses dados são comparados com os de um ano base anterior. A contabilidade por projeto quantifica as emissões que serão evitadas por um determinado projeto no futuro, neste caso o impacto estimado por meio de uma comparação com uma linha de base, utilizando cenários possíveis de acontecer (CETESB, 2008).

Conforme ilustra a figura 2.1, existem 6 passos para a instruir elaboração de um inventário que serão detalhados nos próximos tópicos. A aplicabilidade dos relatórios de gases do efeito estufa é assegurar que esses inventários sirvam as necessidades dos utilizadores internos e externos à empresa. É um importante recurso para debater sobre riscos, criar métricas, publicar relatórios, e auxiliar na tomada de decisão estratégica em relação as mudanças climáticas e emissões de carbono. O que é medido é gerido.

Figura 2.1. Seis passos para elaboração do inventário de GEE.



Fonte: Adaptado de GVces (2008).

2.7.1 Definição dos limites organizacionais.

Os inventários registram todas as fontes de emissão dentro dos limites selecionados, estes limites podem ser delimitados de acordo com a estrutura organizacional (posses, acordos legais, *joint ventures*), operação (atividades *on-site* e *off-site*) e contexto de negócio (natureza das atividades, localização geográfica, objetivos e utilização da informação).

As informações de GEE sobre as operações dentro dos limites estabelecidos de uma organização precisam ser consolidadas de forma que seja comparável no tempo. Caso haja alterações nos limites do inventário, ou em outros fatores que influenciem as estimativas de emissão, basta documentar e justificar. Para relatórios de nível empresarial os limites são determinados pela participação de capital ou por abordagem de controle (CETESB, 2008).

Nos limites determinados pela participação de capital, a empresa contabiliza os GEE de acordo com sua participação no capital da operação. Na abordagem de controle a empresa contabiliza as emissões da operação que exerce controle. As operações que participa, mas não controla, não são contabilizadas. O controle pode ser operacional, onde a empresa publica sobre as operações que tiver autoridade total para introduzir e implementar as suas políticas operacionais, ou o controle pode ser financeiro, ou seja, quando a empresa consegue direcionar políticas financeiras e tirar benefícios econômicos das atividades. Logo, para determinar os limites organizacionais a empresa deve escolher a abordagem de consolidação (Ex.: participação de capital ou a abordagem de controle financeiro ou operacional) (CETESB, 2008).

2.7.2 Definição dos limites operacionais.

Uma vez estabelecido o limite organizacional, é necessário estabelecer os limites operacionais que serão levados em consideração para a consolidação dos dados das emissões. O limite operacional define as emissões diretas e indiretas, dividindo em 3 escopos, conforme ilustra figura 2.4. Normalmente as empresas subdividem os dados pelos escopos por transparência ou para auxiliar na comparação ao longo do tempo.

O escopo 1 representa as fontes de emissões diretas de GEE, ou seja, são as emissões geradas pela geração de eletricidade, calor ou vapor, resultado da combustão de combustíveis em fontes estacionárias, como caldeiras, fornos e turbinas. Também são fontes de emissões diretas o processamento físico e químico, resultado da fabricação e processamento de novos produtos, químicos (CETESB, 2008).

O escopo 2 contabiliza as emissões da geração de eletricidade adquirida ou consumida pela empresa, sendo a eletricidade adquirida aquela que é comprada ou trazida para dentro dos limites organizacionais da empresa. São contabilizadas as emissões que ocorrem fisicamente no local onde a eletricidade é gerada. Para muitas empresas, a eletricidade comprada representa uma das maiores fontes de emissões, bem como a oportunidade mais significativa para reduzi-las (CETESB, 2008).

O escopo 3 aborda todas as outras emissões indiretas, ou seja, aquelas que são produzidas em fontes que não pertencem ou não são controladas pela empresa. Algumas atividades que são

incluídas no escopo 3 do *GHG Protocol* são a extração e produção de materiais e combustíveis comprados, transporte de materiais ou bens comprados, transporte de produtos vendidos, viagens de negócios dos colaboradores, transporte de desperdício ou lixo, deslocamento dos colaboradores ao trabalho, transporte de combustível comprado atividades relacionadas ao consumo de energia elétrica que não estejam incluídas no escopo 2 (extração, produção e transporte de combustíveis, para consumo na produção de eletricidade, compra de eletricidade para revenda ao consumidor final), bens arrendados, franquias e atividades terceirizadas. E por último, o tratamento de lixo produzido em operações (CETESB, 2008).

O registro das emissões do escopo 3 não precisa envolver uma análise detalhada do ciclo de vida de GEE, de todos produtos e operações. Os principais passos para a consolidação do que incluir no escopo são descrever a cadeia de valor, o registro das emissões ao longo de toda a cadeia de valor pode revelar oportunidades de ganho de eficiência e redução de custos, determinar as atividades de escopo 3 relevantes, ou seja, que possuem elevada proporção de emissões, e contribuem para o risco de exposição de imagem da empresa (atividades consideradas críticas pelos grupos de interesse como acionistas, financiadores ou *stakeholders*) e identificar parceiros ao longo da cadeia. Um resumo sobre as atividades consideradas em cada escopo está presente na tabela 2.2 (CETESB, 2008).

Tabela 2.2. Definição dos escopos de emissões.

Escopos	Fontes de emissão
Emissões diretas (Escopo 1)	Combustão estacionária
	Combustão móvel
	Emissões fugitivas
	Processos industriais
	Atividades agrícolas
	Mudança do uso do solo
Emissões indiretas (Escopo 2)	Resíduos sólidos e efluentes
	Compra de energia elétrica
	Compra de energia térmica

Emissões indiretas (Escopo 3)	Perdas por transmissão e distribuição
	Bens e serviços comprados (<i>upstream</i>)
	Bens de capital (<i>upstream</i>)
	Atividades relacionadas com combustível e energia (não inclusos no escopo 1 e 2)
	Transporte e distribuição (<i>upstream</i>)
	Resíduos gerados pela operação
	Viagens a negócios
	Deslocamento de funcionários (casa – trabalho)
	Bens arrendados (<i>upstream</i>)
	Transporte e distribuição (<i>downstream</i>)
	Processamento de produtos vendidos
	Uso de produtos vendidos
	Tratamento de fim de vida dos produtos
	Bens arrendados (<i>downstream</i>)
	Franquias
Investimentos	

Fonte: Adaptado de Sinergia Engenharia (2022).

Algumas atividades do escopo 3 podem ser consideradas *upstream* ou *downstream*, de acordo com as suas definições:

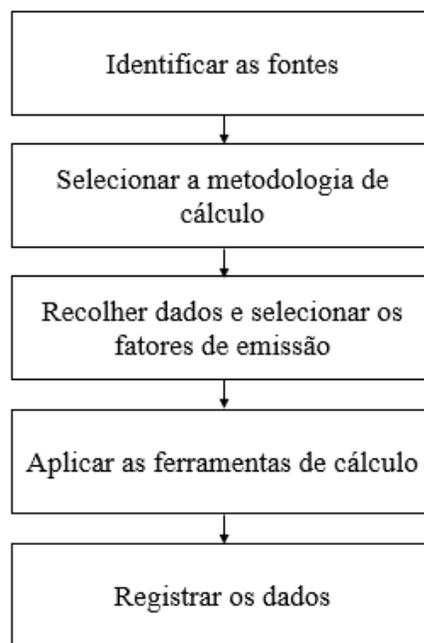
- Atividades *upstream*: são atividades que ocorrem antes de entrar nos processos operacionais da instituição inventariante. Isso é, são bens e serviços que são comprados pela instituição.
- Atividades *downstream*: são atividades que ocorrem após passar pelos processos operacionais da instituição inventariante. Sendo considerados bens e serviços vendidos.

O relato dos escopos no inventário de GEE é obrigatório para os escopos 1 e 2, e voluntário (opcional) para o escopo 3.

2.7.3 Seleção da metodologia de cálculo e fatores de emissão

Após definir os limites operacionais é preciso selecionar a metodologia de cálculo que será utilizada e os fatores de emissão necessários de acordo com o que foi definido anteriormente. A figura 2.2 resume o que será detalhada a seguir.

Figura 2.2. Orientação para o cálculo das emissões.



Fonte: Adaptado de BCSD (2008).

A determinação das fontes de emissões deve estar dentro dos limites organizacionais e operacionais definidos anteriormente. As emissões podem ser identificadas de acordo com as seguintes categorias:

- Combustão estacionária: combustão de combustíveis em equipamento estacionário como caldeiras, fornos, motores, turbinas etc.

- Combustão móvel: combustão de combustível no transporte, como caminhões, carros, barcos, navios etc.
- Emissões do processo: emissões de processos físicos e químicos, como por exemplo um processo de fundição de alumínio.

A metodologia mais comum para o cálculo das emissões é a utilização de fatores de emissão que relacionam dados das atividades com os GEE emitidos. Os relatórios do IPCC fornecem metodologias e técnicas de cálculo que utilizam desde fatores de emissões genéricos até um monitoramento mais rigoroso.

2.7.4 Coleta de dados

O cálculo da emissão irá geralmente depender dos fatores de emissão, que podem ser fatores publicados, ou pré-configurados baseados em dados específicos da empresa, do local, entre outros, como explicado anteriormente, e vai depender também dos dados das atividades. A figura 2.3 traz alguns exemplos de atividades. A obtenção dos dados das atividades serão a limitação mais significantes nos cálculos, sendo esses muitas vezes de pouca qualidade, baseados em muitas premissas.

Tabela 2.3. Exemplos de dados de atividade.

Fonte de emissão	Dados de atividade
Combustão estacionária de combustíveis fósseis	Dados do medidor de vazão de combustível, registros de consumo de combustível do estabelecimento
Emissões de processo (Exemplo: fabricação de cimento)	Quantidade de calcário utilizado, quantidade de clínquer utilizado
Emissões fugitivas (Exemplo: minas de carvão subterrâneas)	Coleta trimestral ou mais frequente de amostra de metano liberado de poços de ventilação

Gestão de resíduos (Exemplo: aterro de resíduos sólidos urbanos)	Valores medidos ou estimados da quantidade anual de resíduos dispostos
Combustão móvel	Distância percorrida, combustível consumido

Fonte: Adaptado de Singh e Bacher (2018).

2.7.5 Cálculo das emissões.

Para cada fonte de emissão pode-se avaliar qual metodologia de cálculo será mais viável, as opções podem ser: Medição Direta, Cálculo Estequiométrico, Balanço de massa e Fatores de Emissão. A abordagem para o cálculo mais comum é a utilização dos fatores de emissão tabelados, são taxas que retornam as emissões de GEE relacionadas a uma atividade. Existem ferramentas de cálculos disponíveis no site do *GHG Protocol*, tanto para aplicação em diversos setores, ou para cálculo de setores específicos, porém, essas ferramentas são opcionais, as empresas podem utilizar seu próprio método de cálculo para obter suas emissões de GEE, desde que estejam em conformidade com o *GHG Protocol Corporate Standards* (CETESB, 2008).

2.7.6 Elaboração do relatório.

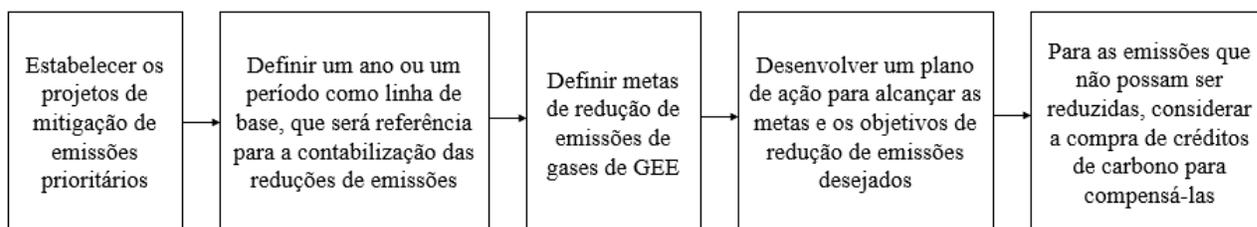
A empresa inventariante deve preparar um relatório de emissões corporativas de GE com o ano de referência do inventário. O tipo de informação que deverá ser publicada depende diretamente da estrutura organizacional e da abordagem de consolidação adotada pela empresa ao estabelecer os limites organizacionais. De maneira geral, as informações necessárias no relatório são os limites organizacionais e operacionais adotados, metodologias usadas para calcular ou medir emissões, uma breve descrição das fontes de emissão e os dados de emissões para os seis GEEs separadamente, uma lista e explicação de exclusões ou inclusões de fontes, evolução do inventário sobre o ano anterior e sobre o ano-base, análise de incertezas e ações direcionadas à redução de emissões.

Além do *GHG Protocol* como fonte de informações para a elaboração de relatório, temos os relatórios de sustentabilidade estruturados por organizações como *Global Reporting Indicator* (GRI) e o *Carbon Disclosure Project* (CDP), que fornecem recomendações aos formuladores de políticas e negócios para que sejam transparentes ao definir ações de mitigação, gerar contribuições nos NDCs e atingir os objetivos do Acordo de Paris por exemplo.

2.8. Gestão estratégica do carbono

A gestão estratégica de carbono é uma abordagem que envolve a identificação, mensuração, monitoramento e redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), como o dióxido de carbono (CO₂), em processos de produção e operações de uma organização, com o objetivo de mitigar os impactos das emissões. A figura 2.3 ilustra um direcionamento resumido para a gestão de carbono:

Figura 2.3. Direcionamento para gestão de carbono.



Fonte: Adaptado de Confederação Nacional da Indústria (2011).

Após a quantificação das emissões, é possível analisar os resultados e identificar as principais fontes de emissões de carbono no processo de produção. Isso permite compreender quais são os pontos críticos em termos de impacto ambiental e onde as ações de redução podem ser mais efetivas. Com base nessa análise, é possível estabelecer metas de redução de emissões de carbono, definir indicadores de desempenho e desenvolver um plano de ação para implementar as estratégias de gestão de carbono.

As estratégias de gestão de carbono podem variar dependendo das características do processo de produção e das metas de redução estabelecidas, mas algumas abordagens comuns incluem:

- Eficiência energética: identificação de oportunidades de redução do consumo de energia no processo de produção, por exemplo, por meio da adoção de equipamentos mais eficientes, otimização de processos produtivos, melhoria do isolamento térmico de instalações, uso de iluminação LED, entre outras ações.
- Uso de fontes de energia renovável: busca por alternativas de energia renovável para substituir ou complementar o consumo de energia proveniente de fontes fósseis, como a instalação de painéis solares, turbinas eólicas, sistemas de cogeração, entre outros.
- Gestão de resíduos: implementação de práticas de gestão adequada de resíduos, como a redução na geração de resíduos, a reciclagem de materiais, a compostagem, a recuperação de energia a partir dos resíduos, entre outras ações.
- Otimização logística: avaliação e otimização dos processos de transporte de insumos e produtos acabados, buscando minimizar as emissões.

Os indicadores de desempenho de emissões de carbono são medições ou métricas que são utilizadas para avaliar o desempenho de uma organização, empresa ou projeto em relação à redução ou controle das emissões de GEE. Esses indicadores podem ser quantitativos ou qualitativos, e podem variar dependendo do setor, do objetivo específico e do escopo da análise. Alguns exemplos de indicadores de desempenho de emissões de carbono incluem:

- Intensidade de carbono: É a relação entre as emissões de GEE e a atividade econômica ou a produção de uma empresa. Pode ser expressa em termos absolutos (toneladas de CO₂e por ano) ou em termos relativos (toneladas de CO₂e por unidade produzida ou vendida).
- Emissões totais de GEE: É a quantidade total de gases de efeito estufa emitidos por uma organização, empresa ou projeto em um determinado período de tempo, geralmente medido em toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂e).
- Metas de redução de emissões: São objetivos estabelecidos por uma organização para reduzir suas emissões de GEE em um determinado período de tempo. Podem ser metas absolutas (por exemplo, redução de 30% das emissões de GEE até 2030 em relação a

um ano base) ou metas baseadas em intensidade de carbono (por exemplo, redução de 50% da intensidade de carbono até 2025 em relação a um ano base).

- Investimentos em baixo carbono: É a quantificação dos investimentos feitos em projetos, tecnologias ou atividades que têm como objetivo reduzir as emissões de GEE, como por exemplo, investimentos em energia renovável, eficiência energética, transporte sustentável, entre outros.
- Certificações e selos de sustentabilidade: São certificações ou selos concedidos a organizações, empresas ou projetos que atendem a critérios específicos de redução de emissões de carbono, geralmente em conformidade com padrões internacionais reconhecidos, como o ISO 14064, o *GHG Protocol* ou o Programa de Carbono Neutro.
- Compensação de emissões: É a quantificação das emissões de GEE compensadas por uma organização, empresa ou projeto por meio de projetos de mitigação, como reflorestamento, conservação florestal, projetos de energia renovável, entre outros.

Ao fazer o inventário de carbono é importante que a empresa continue a gestão dessa quantificação, logo uma opção é de estudar as reduções baseadas em projeções e compensação de créditos. É necessário selecionar uma base de cenário e de emissão, no qual um cenário base representa o que teria acontecido na ausência de projetos e quantificações. As emissões linhas de base são hipotéticas e associadas a este cenário. A redução da projeção é calculada como a diferença entre a linha de base e a projeção das emissões.

Além disso, as metas baseadas na ciência mostram às organizações quanto e com que rapidez elas precisam reduzir suas emissões de gases de efeito estufa (GEE). O A iniciativa *Science Based Targets* (SBTi) define e promove as melhores práticas na definição de metas com base científica, sendo também uma ótima iniciativa para as empresas na definição das metas e planos de ação (eCycle, 2022).

2.9. Projeto pedagógico do curso de Engenharia Química da UFSCar e as novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN's)

Visto todo conteúdo abordado anteriormente, nota-se que é crucial elaborar abordagens educacionais que possibilitem aos alunos adquirir as competências essenciais para compreender

e aplicar conceitos ligados à sustentabilidade. E esta necessidade está alinhada as novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN's). As primeiras DCN's para os cursos de engenharia foram instituídas em 2002 por meio da Resolução CNE/CES nº 11/2002 que em seu Art. 3º determina que “o curso de graduação em engenharia tem como perfil do formando egresso/profissional o engenheiro, com formação generalista, humanista, crítica e reflexiva, capacitado a absorver e desenvolver novas tecnologias, estimulando a sua atuação crítica e criativa na identificação e resolução de problemas, considerando seus aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais, com visão ética e humanística, em atendimento às demandas da sociedade”. (MEC, 2002)

Em 2019 foram publicadas as novas DCN's por meio da resolução CNE/CES nº 2 de 24/04/2019. É uma atualização quanto à visão do perfil e competências do profissional formado, da organização do curso de graduação, da avaliação das atividades e do corpo docente.

Em relação a perfil e competências, são abordados dois aspectos: habilidades técnicas (*hard skills*) e habilidades comportamentais (*soft skills*). Para as habilidades técnicas, é esperado que o Engenheiro em seu ambiente de trabalho seja capaz de:

- Formular e conceber soluções desejáveis de engenharia de forma criativa utilizando técnicas adequadas de observação, compreensão, registro e análise das necessidades dos usuários e de seus contextos sociais, culturais, legais, ambientais e econômicos;
- Analisar e compreender os fenômenos físicos e químicos por meio de modelos simbólicos, físicos e outros, verificados e validados por experimentação;
- Conceber, projetar e analisar sistemas, produtos (bens e serviços), componentes ou processos de engenharia;
- Implantar, supervisionar e controlar as soluções de engenharia;
- Compreender a legislação, a ética e a responsabilidade profissional e avaliar os impactos das atividades de engenharia na sociedade e no meio ambiente. Atuando sempre de forma a respeitar a legislação, e com ética em todas as atividades, zelando para que isto ocorra também no contexto em que estiver atuando;
- Aprender de forma autônoma e lidar com situações e contextos complexos, atualizando-se em relação aos avanços da ciência, da tecnologia e aos desafios da inovação (MEC, 2019).

Com relação às habilidades comportamentais, as DCN's indicam que é esperado do profissional Engenheiro:

- Comunicar-se eficazmente nas formas escrita, oral e gráfica;
- Trabalhar e liderar equipes multidisciplinares de forma colaborativa, ética e profissional, reconhecendo e convivendo com as diferenças socioculturais nos mais diversos níveis em todos os contextos em que atua (globais/locais);
- Ter visão holística e humanista, ser crítico, reflexivo, criativo, cooperativo e ético e com forte formação técnica;
- Ser capaz de reconhecer as necessidades dos usuários, formular, analisar e resolver, de forma criativa, os problemas de engenharia;
- Considerar os aspectos globais, políticos, econômicos, sociais, ambientais, culturais e de segurança e saúde no trabalho;
- Atuar com isenção e comprometimento com a responsabilidade social e com o desenvolvimento sustentável (MEC, 2019).

As novas Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de engenharia são de extrema importância, pois têm como objetivo aprimorar a qualidade da formação dos engenheiros e adequar a formação aos avanços tecnológicos e às demandas do mercado de trabalho, que esperam um profissional preparado para um dos principais desafios deste século, as mudanças climáticas. Visto isso, o atual trabalho visa preparar um material com conteúdo teórico e prático, e estratégias para a implementação no curso de engenharia química da UFSCar.

3. METODOLOGIA

3.1 Tipologia da Pesquisa

A pesquisa pode ser diferenciada quanto à natureza (básica ou aplicada), aos métodos ou abordagens metodológicas (qualitativa ou quantitativa), quanto aos objetivos (exploratório, descritivo ou explicativa) e quanto aos procedimentos (estudo de caso, pesquisa documental, pesquisa bibliográfica, levantamento etc.) (NASCIMENTO, 2016).

- Quanto a natureza: se classifica como básica, sendo essa uma abordagem de pesquisa inteiramente teórica destinada a melhorar ou expandir a base de conhecimento de um determinado campo de estudo, que neste caso é a temática de sustentabilidade.
- Sobre a abordagem ou metodologia: essa pesquisa se classifica como qualitativa, ou seja, o processo é descritivo, indutivo, de observação que considera a singularidade do conteúdo estudado.
- Quanto aos objetivos: essa é uma pesquisa exploratória, pois é empregada para realizar levantamentos, estudos bibliográficos e análise de exemplos que auxiliem a compreensão de um problema ou resolução de estudo de caso.
- Quanto ao procedimento: a pesquisa utilizou do levantamento bibliográfico e de um estudo de caso.

3.2 Estudo de caso

Visando que os alunos do curso de Engenharia Química da UFSCar ingressem no mercado qualificados nas temáticas de sustentabilidade e propondo a inserção do tema de maneira prática na estrutura curricular, o atual trabalho apresenta uma estratégia de ensino e aprendizagem baseada em pesquisa exploratória e estudo de caso com a aplicação de um método de quantificação de carbono.

O estudo de caso será adaptado de um projeto realizado por alunos da Engenharia Química da UFSCar durante as matérias: Projeto de Processos Químicos e Projeto de Instalações Químicas. O objetivo destas matérias são capacitar o aluno na realização de um projeto completo de uma unidade química. O grupo era formado pelos alunos: Juliana Tavares Zanuzzo, Giovana Gimenes Borges, Larissa Pires Otoni e Mário Altêmio de Freitas Dalpian.

A indústria fictícia escolhida para o estudo de caso é a “EngeAgro”, presente no setor de biopesticida, sendo este produzido a partir da bactéria *Bacillus thuringiensis* (ou popularmente, Bt). A Bt é uma bactéria Gram-positiva, ubíqua, que pode ser caracterizada pela capacidade de formar cristais protéicos durante a fase estacionária e/ou de esporulação. Estes cristais apresentam propriedades inseticidas (entomopatogênica) afetando uma faixa seletiva de ordens de insetos, como lepdópteros, dípteros e coleópteros, havendo, porém, outras subespécies que

apresentam toxicidade contra insetos de outras ordens (ANGELO; VILASBÔAS; CASTRO-GÓMEZ, 2010, BRAR, 2006).

O estudo de caso é sobre uma unidade industrial que contém 2 portarias, estacionamento, restaurante, prédio administrativo, almoxarifado, galpão de utilidades, e um prédio para a produção, conforme ilustra a maquete eletrônica da figura 3.4, feita no programa *Sketchup*. O processo de produção em si se inicia em laboratório, com a seleção de uma estirpe comprovadamente pura da Bt, e possui como principais equipamentos para a produção do produto final: fermentador, centrífuga, *spray dryer* e ciclone. Posteriormente o pó segue para envase.

Figura 3.4. Maquete eletrônica unidade industrial do estudo de caso.



Fonte: Elaborado pela autora.

Será desenvolvido um estudo de caso no qual os valores serão baseados em referências bibliográficas, e apresentado nos resultados, e com base nessas informações serão calculadas as emissões da unidade, posteriormente com base no resultado serão elaboradas alternativas de gestão e planos de ação que possam contribuir para uma unidade industrial mais sustentável.

3.3 Metodologia *GHG Protocol* para o estudo de caso

Para a elaboração do inventário de GEE da empresa, foi utilizada a metodologia do Programa Brasileiro do *GHG Protocol*, que estabelece seis passos para sua execução:

1. Definição dos limites organizacionais;
2. Definição dos limites operacionais;
3. Seleção da metodologia de cálculo e fatores de emissão;
4. Coleta de dados das atividades que resultam na emissão de GEE;
5. Cálculo das emissões;
6. Elaboração do relatório de emissões de GEE.

Logo, de maneira geral é necessário identificar as fontes de emissões e classificá-las. As emissões de GEE do escopo 1 serão calculadas com base na quantidade de combustíveis adquiridos usando os fatores de emissão tabelados. As emissões do escopo 2 serão calculadas por métricas obtidas a partir do consumo de eletricidade. E para o escopo 3 serão calculadas a partir de dados de consumo de combustível.

3.3.1 Definição dos limites organizacionais

Conforme visto anteriormente, a consolidação do limite organizacional pode ser feita por participação de capital ou a abordagem de controle financeiro ou operacional. Neste caso, temos uma unidade de indústria química de porte pequeno que atende apenas uma região do Mato Grosso. A abordagem adotada será a de controle operacional, onde é necessário incluir as emissões das fontes que estejam sob o controle da empresa, no caso, da unidade do estudo de caso realizada por alunos do curso. Escolhida a abordagem, é definido como limite organizacional a unidade industrial localizada em Sorriso, no Mato Grosso, representada pela maquete eletrônica.

3.3.2 Definição dos limites operacionais

Nesta etapa, é necessário identificar as fontes de emissão associadas a operação que serão calculadas, classificando-as de acordo com seus escopos. Foram identificadas conforme tabela 3.4 as seguintes fontes de emissões de acordo com o enunciado e os dados disponíveis pelo projeto:

Tabela 3.4. Fonte de emissão.

Identificação dos escopos	Fonte de emissão
Emissões diretas (Escopo 1)	Caldeira no prédio de utilidades que utiliza gás natural
	Frota particular de caminhões
	Empilhadeiras para transporte de matéria prima e produto final
	Gerador a Diesel no prédio de utilidades
	Emissões Inerentes ao escape de gases em equipamentos de refrigeração, ar-condicionado, e extintores de incêndio.
Emissões indiretas (Escopo 2)	Energia elétrica para os prédios e produção.
Emissões indiretas (Escopo 3)	Transporte de matéria prima, embalagem e produto acabado.
	Tratamento de resíduos e efluentes.

Fonte: Elaborado pela autora.

As atividades que ocorrem, mas que não se tem o controle operacional estão estabelecidas no escopo 3. Por ser uma unidade industrial fictícia e pouca disponibilidade de dados sobre o biopesticida e sua matéria prima, optou-se por não quantificar essas emissões.

3.3.3 Seleção da metodologia de cálculo e fatores de emissão

O cálculo será feito com a utilização dos fatores de emissão tabelados, são taxas que retornam as emissões de GEE relacionadas a uma atividade. De maneira geral, a equação para obtenção das emissões é dada pela equação 1 abaixo:

$$\text{Emissão de CO2 equivalente} = \text{Dados de atividade} \times \text{Fator de emissão} \times \text{GWP} \quad (1)$$

No caso da combustão estacionária e móvel vamos utilizar a equação 2, onde V_c é o volume de combustível utilizado (L), EF é o fator de emissão do combustível (KgCO_2/L) e GWP o potencial de aquecimento global do respectivo gás (sem unidade):

$$\text{Emissão de CO2 equivalente} = V_c \times \text{EF} \times \text{GWP} \quad (2)$$

Para as emissões fugitivas de gases refrigerantes, comum em ar-condicionado e freezers, será utilizada a equação 3, no qual G_r representa a quantidade de gás recarregado por tipo de GEE em toneladas:

$$\text{Emissão de CO2 equivalente} = G_r \times \text{GWP} \quad (3)$$

Para as emissões fugitivas de extintores será utilizada a equação 4, no qual T_v é a taxa de vazamento:

$$\text{Emissão de CO2 equivalente} = T_v \times \text{GWP} \quad (4)$$

A quantidade de energia elétrica necessária para o funcionamento da unidade será calculada de acordo com a equação 5, onde será necessário dados de consumo de energia elétrica (kWh) representado na equação por C, e o fator de emissão EF associado ao tipo de energia comprada e consumida (KgCO_2/kWh):

$$\text{Emissão de CO2 equivalente} = C \times \text{EF} \times \text{GWP} \quad (5)$$

3.3.4 Coleta de dados

Para a quantificação de emissões do escopo 1 será necessário coletar os fatores de emissão necessários e os valores dos potenciais de aquecimento global dos gases. Para cada tipo de combustível foi necessário coletar os dados dos fatores de emissão, sendo utilizada como fonte a planilha do *GHG Protocol*, no qual as unidades para os fatores são Kg do respectivo gás por unidade da atividade, conforme a tabela 3.5.

Tabela 3.5. Fatores de emissão (EF) dos combustíveis.

Atividades e unidades	EF	EF	EF
	(kgCO ₂ /unidade)	(kgCH ₄ /unidade)	(kgN ₂ O/unidade)
Gás natural da caldeira (m ³)	2,066939	0,000037	0,000004
Diesel para a frota de caminhão (L)	2,603000	0,000138	0,000138
GLP utilizado pelas empilhadeiras (Kg)	2,932477	0,002881	0,000009
Diesel utilizado pelo gerador (L)	2,630908	0,000106	0,000021

Fonte: *GHG Protocol* (2023).

Os combustíveis comerciais possuem biocombustíveis em sua composição, logo é necessário considerar a porcentagem de biocombustível presente, e conseqüentemente o fator de emissão, que será diferente, conforme tabela 3.6.

Tabela 3.6. Fatores de emissão (EF) biocombustível.

Atividades e unidades	EF	EF	EF
	Biocombustível (kgCO ₂ /unidade)	Biocombustível (kgCH ₄ /unidade)	Biocombustível (kgN ₂ O/unidade)

Diesel para frota de caminhão (L)	2,431000	0,000331	0,000020
Diesel utilizado pelo gerador (L)	2,456010	0,000099	0,000020

Fonte: *GHG Protocol (2023)*.

Seguindo a metodologia, para o cálculo das emissões fugitivas e para a conversão em toneladas de dióxido de carbono equivalente são necessários os potenciais de aquecimento global de cada gás, conforme tabela 3.7.

Tabela 3.7. Potenciais de aquecimento global necessários para os cálculos.

Gás	Potencial de aquecimento global (GWP)
Dióxido de carbono	1
Metano	28
Óxido Nitroso	265
R-410a	1923,5
R-134a	1300

Fonte: *GHG Protocol (2023)*.

Para a quantificação de emissões relacionadas ao escopo 2, ou seja, as emissões de GEE por aquisição de energia elétrica, são utilizados fatores de emissão proveniente do Sistema Interligado Nacional (SIN) e os valores de consumo de energia mensal, localizados na tabela 3.8.

Tabela 3.8. Fatores de emissão (EF) do SIN necessários para os cálculos.

Mês	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho
------------	----------------	------------------	--------------	--------------	-------------	--------------

EF (tCO₂/MWh)	0,073	0,050	0,041	0,022	0,028	0,044
Mês	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
EF (tCO₂/MWh)	0,042	0,046	0,049	0,047	0,040	0,029

Fonte: *GHG Protocol* (2023).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Pesquisa bibliográfica

Como resultado da pesquisa bibliográfica foi possível determinar o método de quantificação de gases de efeito estufa mais adequado para a resolução do exercício, de acordo com os dados disponíveis, analisando a ISO 14064, *GHG Protocol*, e a Avaliação do Ciclo de Vida (AVC).

Durante a pesquisa notou-se que o método do *GHG Protocol* é um padrão de quantificação de emissões compatível com a ISO 14064, sendo o *GHG Protocol* é uma metodologia mais ampla que oferece ferramentas como o Excel, com instruções para o cálculo.

A ISO 14064 permite que as organizações obtenham uma certificação reconhecida internacionalmente que demonstra seu compromisso com a mitigação das mudanças climáticas. Além disso, a ISO 14064 tem três partes diferentes, cada uma cobrindo uma etapa diferente do processo de gerenciamento de emissões de GEE: especificações para a quantificação e o relato das emissões de GEE (Parte 1), especificações para a quantificação de projetos de redução de GEE (Parte 2) e orientações para a validação e a verificação de projetos de redução de GEE (Parte 3). O *GHG Protocol*, por outro lado, tem uma estrutura mais simples e consiste em dois padrões: o padrão corporativo de contabilidade de GEE e o padrão de projetos de GEE.

Tanto a ISO 14064 quanto o *GHG Protocol* utilizam os fatores de emissão fornecidos pelo IPCC como fonte para a quantificação das emissões de gases de efeito estufa. Os fatores de emissão do IPCC são baseados em dados científicos e são amplamente aceitos como um método padrão para quantificar as emissões de GEE em todo o mundo.

Além disso, algumas empresas e organizações desenvolveram suas próprias metodologias para o cálculo de emissões, adaptadas às suas operações e necessidades específicas. No entanto, é importante que essas metodologias sejam transparentes, padronizadas e baseadas em dados confiáveis, para garantir que as emissões sejam calculadas de forma consistente e precisa.

Já a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta que avalia o impacto ambiental de um produto, processo ou serviço em todas as etapas do seu ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas até o descarte final. A ACV pode ser usada para avaliar as emissões de GEE associadas a um produto ou serviço, diferente das outras duas metodologias que são focadas em atividades de uma organização como um todo. Portanto, a ACV se assemelha às outras metodologias apresentadas, no entanto, demonstra maior complexidade e avalia além das emissões de carbono.

Logo, tendo como limitante principalmente o número de dados disponíveis, e pela maior disponibilidade de orientações e diretrizes detalhadas para cálculo, com padronização e exposição de emissões em forma de categorias e escopos, que facilita o mapeamento, o estudo de caso terá sua resolução baseado na metodologia *GHG Protocol*.

4.2 Resultados do estudo de caso

4.2.1 Estruturação do estudo de caso modelo

Por conta da falta de dados da indústria fictícia do projeto as atividades essenciais para o funcionamento dessa unidade requerem a adoção de algumas premissas de acordo com referências bibliográficas.

No caso dos extintores de incêndio, a maioria dos extintores de dióxido de carbono encontrados via pesquisa e que estavam de acordo com a norma técnica NBR 15808 eram de 6 Kg, logo adotou-se que todos os extintores presentes na unidade possuem essa capacidade, e que havia 1 extintor por prédio, pois não é possível fazer o cálculo dos extintores necessários em cada prédio por falta de informações. O documento emitido pelo IPCC determina que, em média, 15% do conteúdo de um extintor de incêndio vaza ao ano, ao passo que outros 11% são utilizados em serviço. Dessa forma, considerou-se que 26% de um extintor de incêndio é

utilizado ao ano e existem no total 8 extintores de incêndio, então 12,48 Kg de CO₂ utilizados ao ano.

Para os freezers adotou-se que há 3 freezers horizontais, no qual são ferias cargas de refrigerante, o gás refrigerante utilizado é o R-134a. Segundo Peixoto, Júnior, Godoi (2010 p. 28) a carga média de refrigerante em um freezer horizontal é de 0,250kg, logo, adotaram-se que houve 1 recarga no ano nos 3 freezers, 0,750 Kg de gás no total.

Para os ares-condicionados, o procedimento correto é verificar na etiqueta do aparelho qual a quantidade de gás necessária para recarregar caso haja vazamento. Geralmente há uma quantidade ideal para cada modelo. Neste caso, adotaram-se ares-condicionados de 12 mil BTUs da marca LG, que contém 800 gramas de gás R-410a (Web Ar-condicionado, 2020). Há 10 ares-condicionados que foram recarregados cada um uma vez no ano, totalizando 8.000 gramas de gás R-410a no ano.

No caso dos geradores a diesel foi utilizado como base o estudo realizado por Schwartzaupt e Trindade (2016), que analisaram as emissões de gases de efeito estufa em uma indústria de fertilizantes. Segundo o estudo, o gerador consumiu 32.000 litros de Diesel durante o funcionamento no horário de pico e falta de energia elétrica no ano.

Para os dados de compra de energia elétrica também foi utilizado como referência o estudo realizado por Schwartzaupt e Trindade (2016) por ser uma indústria do mesmo setor que a unidade industrial fictícia do projeto do atual trabalho, conforme tabela 4.9.

Tabela 4.9. Consumo médio por mês em MWh.

Mês	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho
------------	----------------	------------------	--------------	--------------	------------	--------------

Consumo (MWh)	32,4	78,8	78,4	78,4	79,0	80,4
Mês	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Consumo (MWh)	88,3	93,3	89,4	89,1	88,1	79,1

Fonte: Adaptado de Schwartzaupt e Trindade (2016).

De acordo com Palhosa (2021), o consumo médio diário de uma empilhadeira que utiliza GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) é de 18 kg/dia. Com base nessa informação, e adotando a necessidade de 3 empilhadeiras no prédio de produção, temos o consumo de 13.608 Kg de GLP ao ano.

Utilizando o trabalho realizado por Moreira (2007), uma caldeira com capacidade de produção de vapor de 2000 kg/h possui um consumo máximo de 20.000 m³/mês de gás natural. Logo, adotando esse consumo como base, a caldeira presente na unidade irá consumir 5.000 m³/mês, totalizando 60.000 m³ ao ano.

Para a frota particular, adotou-se que possuíam caminhões rígidos (7,5 a 17 toneladas), que percorriam cerca de 5.000 km por mês, totalizando 60.000 km ao ano. O consumo sugerido pela IPCC para esse caminhão e combustível é de 4,21 km/litro, logo serão necessários 14.261,27 litros de diesel no ano.

O tratamento de resíduos e efluentes é realizado por uma empresa terceirizada, o transporte de produto acabado são realizados por transportadoras logísticas terceiras, e embalagens e matéria-prima pelos fornecedores, não serão contabilizados.

Concluindo as premissas, obteve-se os seguintes resultados para os dados das atividades ao ano, presentes na tabela 4.10. Esses dados serão necessários para realizar os cálculos do próximo tópico.

Tabela 4.10. Dados das atividades em 1 ano.

Identificação do escopo	Atividades	Valor total das atividades
	Quantidade de gás natural utilizada pela caldeira (m ³)	60.000,00
	Quantidade de Diesel utilizada pela frota de caminhões particular (L)	14.261,27
	Quantidade de GLP utilizada pelas empilhadeiras (Kg)	13.608,00
Emissões diretas (Escopo 1)	Quantidade de Diesel utilizada pelo gerador (L)	32.000,00
	R-410a adquirido para substituir o R-410a derramado (Kg)	8
	R-134a adquirido para substituir o R-134a derramado (Kg)	0,750
	Quantidade de CO ₂ utilizados por meio de extintores de incêndio (Kg)	1,248
Emissões indiretas (Escopo 2)	Compra de energia elétrica (MWh)	954,7

Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.2 Cálculo das emissões

As emissões serão contabilizadas em toneladas de dióxido de carbônico equivalente (t CO₂e), seguindo o padrão mundial estipulado pelo IPCC. O CO₂e é uma medida utilizada para comparar as emissões de vários GEE baseado no potencial de aquecimento global de cada um (GWP). O CO₂e é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas do gás pelo seu GWP.

Para as emissões resultantes das atividades da caldeira, é necessário fazer os cálculos das emissões totais com os respectivos fatores de emissão e obter as toneladas de dióxido de carbono equivalente:

$$\text{Toneladas de CO}_2 \text{ equivalente (tCO}_2\text{e)} = 60.000 \times 2,066939 \times 1 + 60.000,00 \times 0,000037 \times 28 + 60.000,00 \times 0,000004 \times 265 = 124.136,84 \text{ KgCO}_2\text{e} = 124,14 \text{ tCO}_2\text{e} \quad (6)$$

Para as emissões resultantes do deslocamento da frota foi calculado as emissões com base no combustível utilizado:

$$\text{Toneladas de CO}_2 \text{ equivalente (tCO}_2\text{e)} = 14.261,27 \times 0,9 \times 2,603000 \times 1 + 14.261,27 \times 0,9 \times 0,000139 \times 28 + 14.261,27 \times 0,9 \times 0,00013853 \times 265 = 33.930,85 \text{ KgCO}_2\text{e} = 33,93 \text{ tCO}_2\text{e} \quad (7)$$

$$\text{Toneladas de CO}_2 \text{ equivalente (tCO}_2\text{e)} = 14.261,27 \times 0,1 \times 2,431000 \times 1 + 14.261,27 \times 0,1 \times 0,000332 \times 28 + 14.261,27 \times 0,1 \times 0,000020 \times 265 = 3487,67 \text{ KgCO}_2\text{e} = 3,49 \text{ tCO}_2\text{e} \quad (8)$$

Para as emissões resultantes das atividades das empilhadeiras, foi calculado as emissões com base no combustível utilizado:

$$\text{Toneladas de CO}_2 \text{ equivalente (tCO}_2\text{e)} = 13.608,00 \times 2,932477 \times 1 + 13.608,00 \times 0,002881 \times 28 + 13.608,00 \times 0,000009 \times 265 = 41.036,52 \text{ KgCO}_2\text{e} = 41,04 \text{ tCO}_2\text{e} \quad (9)$$

Para as emissões relacionados ao uso do gerador a diesel, também foi utilizado o combustível utilizado:

$$\text{Toneladas de CO}_2 \text{ equivalente (tCO}_2\text{e)} = 32.000,00 \times 0,9 \times 2,630908 \times 1 + 32.000,00 \times 0,9 \times 0,000107 \times 28 + 32.000,00 \times 0,9 \times 0,000021 \times 265 = 76.018,74 \text{ KgCO}_2\text{e} = 76,02 \text{ tCO}_2\text{e} \quad (10)$$

$$\text{Toneladas de CO}_2 \text{ equivalente (tCO}_2\text{e)} = 32.000,00 \times 0,1 \times 2,456010 \times 1 + 32.000,00 \times 0,1 \times 0,000099 \times 28 + 32.000,00 \times 0,1 \times 0,000020 \times 265 = 7.859,62 \text{ KgCO}_2\text{e} = 7,86 \text{ tCO}_2\text{e} \quad (11)$$

Para as emissões fugitivas de dióxido de carbono dos extintores, será utilizada a equação 4, para gases refrigerantes do ar-condicionado e do freezer a equação 5 apresentada no tópico anterior, resultando em:

$$\text{Toneladas de CO}_2 \text{ equivalente (tCO}_2\text{e)} = 0,008 \times 1923,5 = 15,39 \text{ tCO}_2\text{e} \quad (12)$$

$$\text{Toneladas de CO}_2 \text{ equivalente (tCO}_2\text{e)} = 0,00075 \times 1300 = 0,98 \text{ tCO}_2\text{e} \quad (13)$$

$$\text{Toneladas de CO}_2 \text{ equivalente (tCO}_2\text{e)} = 0,032 \times 1 = 0,03 \text{ tCO}_2\text{e} \quad (14)$$

Para as emissões da compra de energia elétrica foi calculado conforme o fator de emissão por mês de acordo com o SIN (tabela 5) e o consumo de energia, segue exemplo para o mês de janeiro:

$$\text{Toneladas de CO}_2\text{equivalente} = 32,40 \times 0,073 \times 1 = 2,37 \text{ tCO}_2\text{e} \quad (15)$$

A aplicação do método *GHG Protocol* no estudo de caso resultou nos seguintes valores apresentados na tabela 4.11 abaixo, sendo 330,23 toneladas de CO₂ equivalente o total emitido pela unidade.

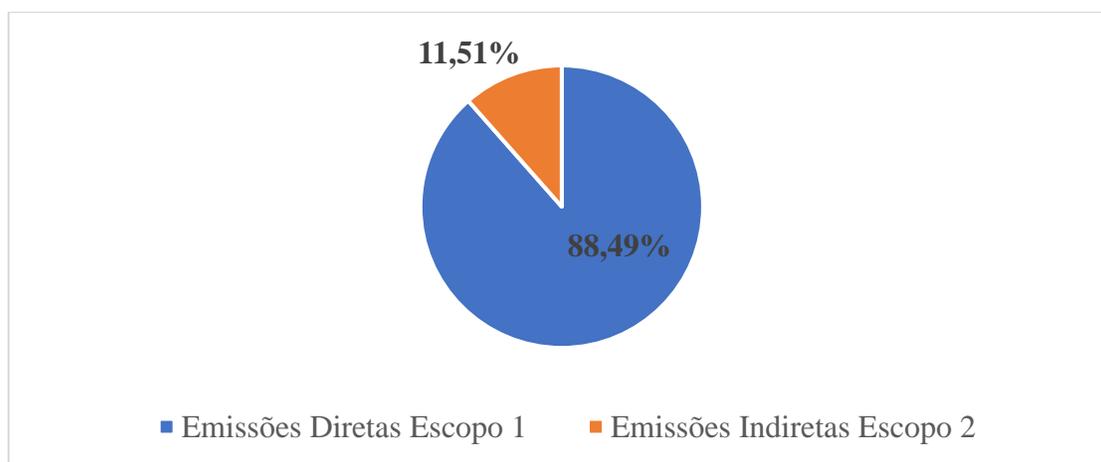
Tabela 4.11. Resumo dos resultados das emissões.

Dados necessários das atividades e unidades	Emissões CO₂ (kg)	Emissões CH₄ (kg)	Emissões N₂O (kg)	Emissões CO₂e (Ton)	Emissões biogênicas (Ton)
Quantidade de gás natural utilizado para fins de aquecimento (m³)	124016,37	2,21	0,22	124,14	-
Quantidade de Diesel utilizado pela frota de caminhão (L)	33409,87	1,78	1,78	33,93	3,49
Quantidade de GLP utilizado pelas empilhadeiras (Kg)	39905,14	39,21	0,13	41,04	-
Quantidade de Diesel utilizada pelo gerador para emergências (L)	75770,15	3,07	0,61	76,02	7,86
R-410a adquirido para substituir o R-410a derramado (Kg)	15388,00	-	-	15,39	-
R-134a adquirido para substituir o R-134a derramado (Kg)	975,00	-	-	0,98	-
Quantidade de CO₂ dos extintores de incêndio (Kg)	12,48	-	-	0,01	
Compra de energia elétrica (MWh)	39,38	-	-	39,38	

Fonte: Elaborado pela autora.

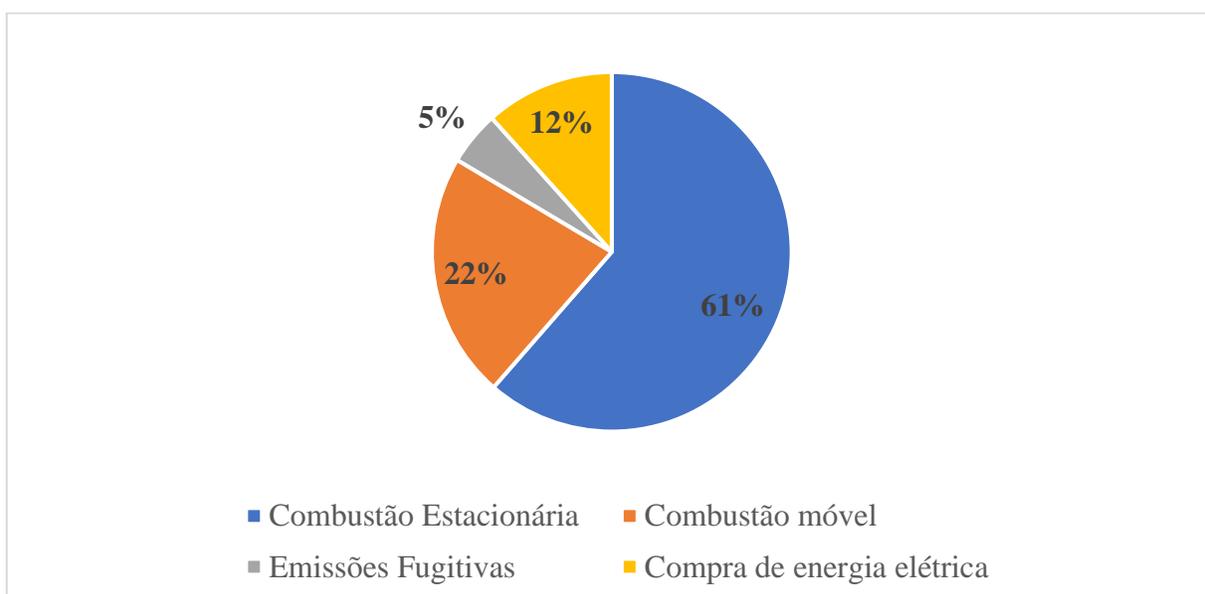
Não é objetivo da resolução do case a construção do documento do inventário completo das emissões da unidade, e sim a quantificação das emissões a fim de gerenciá-las, analisando as principais fontes e possíveis oportunidades para redução. Para uma melhor análise dos resultados foram construídos os gráficos conforme figura 4.5 e 4.6 apresentados.

Figura 4.5. Resultados por escopo.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 4.6. Resultados por fonte de emissão.



Fonte: Elaborado pela autora.

Nota-se com base nas figuras 4.5 e 4.6 que as emissões resultado das atividades de combustão móvel e estacionárias são as mais predominantes. Logo, é importante o desenvolvimento do plano de ações visando a redução e mitigação das emissões calculadas.

4.3 Gestão das emissões de carbono

Com base nos resultados obtidos é possível analisar e desdobrar algumas metas e planos de ação para reduzir as emissões provenientes das atividades da unidade industrial. Analisando as fontes de emissões do escopo 1, há oportunidades de otimização no setor de logística da unidade, como por exemplo:

- Otimização das rotas dos caminhões, diminuindo o número de viagens reduzimos a distância percorrida, conseqüentemente a quantidade de litros de Diesel consumidos.
- Analisar a possibilidade operacional de utilizar outros modais como ferroviário e cabotagem, levando uma maior quantidade de carga do produto acabado para longas distâncias.
- Analisar economicamente a aquisição de empilhadeiras elétricas.
- Analisar economicamente e operacionalmente a aquisição de caminhões de combustíveis alternativos, como GNL e GNV, que possuem fatores de emissão menores que o diesel. Ou até mesmo caminhões elétricos.
- Realizar manutenção periódica dos veículos.
- Implementação de telemetria nos caminhões, a fim de controlar o consumo de combustível.
- Implementação de métricas para acompanhamento das emissões e do impacto da execução de novos planos de ação.

Com base nos resultados da combustão estacionária pode-se analisar operacionalmente e economicamente a possibilidade de adquirir um gerador movido a biogás, que possui valor menor para o fator de emissão. Fazer a troca de equipamentos por outros mais novos e mais

eficientes, e realizar manutenção periódica. Recuperação de calor em processos, sistemas de vapor.

A substituição do R-410a e R-134a por outros gases refrigerantes, que tenham menores potenciais de aquecimento global, é uma alternativa para a redução das emissões de GEE.

Para diminuir o consumo de energia elétrica do escopo 2 é importante optar por lâmpadas de LED, que consomem menos energia, possuem maior vida útil e não produzem resíduo perigoso no momento do seu descarte (SANTOS *et al*, 2015), e evitar se possível atividades que demandem muita energia no horário de ponta. Analisar a viabilidade econômica da implementação de painéis solares, pois é importante ser uma atividade rentável, com curto prazo de *payback*. Troca de equipamentos obsoletos ou de equipamentos menos eficientes energeticamente, revisão de contrato com concessionárias.

Para manter a contabilização das emissões da unidade é importante a empresa ter uma rotina de coleta de dados para elaboração de inventários futuros, e mesmo não contabilizando o escopo 3, optar por fornecedores que possuam a preocupação ambiental e tenham uma gestão ambiental integrada aos negócios da unidade.

Estabelecer metas de redução de emissões por um período, por exemplo, redução de 30% das emissões de GEE até 2030 em relação a um ano base. Aderir a certificados ou selos de sustentabilidade que atendem a critérios específicos de redução de emissões de carbono.

É possível também compensar o impacto causado pelas emissões da unidade com o plantio de novas árvores, uma vez que esses vegetais sequestram grandes quantidades de CO₂ durante o seu crescimento. Conforme Mike McAliney estima, uma árvore adulta pode absorver 48 libras, ou cerca de 22 kg de CO₂ por ano, e considerando-se que árvores fazem isso mais eficientemente até cerca de 40 anos, chega-se a 880 kg de CO₂ absorvidos por árvore. Com isso, é necessário o plantio de 376 mudas para neutralizar o CO₂ emitido pela empresa.

Mas vale lembrar que as árvores levam tempo para crescer e atingir sua plena capacidade de absorção de CO₂. Portanto, é importante considerar o tempo necessário para que as árvores plantadas atinjam um estágio maduro. Esse período varia de acordo com a espécie de árvore selecionada. Além disso, é uma estimativa que não leva em consideração condições climáticas, disponibilidade de água e manejo adequado das árvores.

Se a empresa já está reduzindo as emissões de GEE provenientes de suas operações, o próximo passo é divulgar suas iniciativas de redução de emissões para a cadeia de fornecedores, passando a engajá-los na nova economia de baixo carbono. Há também a possibilidade de comercializar suas emissões no mercado internacional de carbono, ou adquirir seus créditos.

Por fim, divulgar relatórios anuais da empresa, como por exemplo, relatórios de sustentabilidade, utilizar mecanismos externos de divulgação como *Carbon Disclosure Project* (CDP) e o *Global Report Initiative* (GRI), para ter uma imagem positiva frente aos seus investidores, fortalecer a marca e sensibilizar os consumidores e funcionários com a temática.

4.4 Estratégia de ensino

Completamente alinhado às novas DCN's, o conteúdo abordado tem aplicabilidade em diversas atividades durante a graduação como estratégia de ensino aprendizagem para a reformulação curricular na forma de novas disciplinas e atividades.

É possível a implementação de tópicos em disciplinas do eixo ambiental e de sustentabilidade (Controle Ambiental, Economia Circular e Sustentabilidade e Avaliação de Impactos Ambientais – duas novas disciplinas), onde o conteúdo pode ser aplicado na forma de seminário sobre mudanças climáticas ou resolução de exercícios utilizando o método *GHG Protocol* para contabilização das emissões de carbono a partir de um cenário pré-determinado pelo docente. Há ainda a possibilidade de envolver estudos de casos reais em parceria com empresas e caracterizar a extensão na própria disciplina (créditos teóricos e de extensão na ficha de caracterização), articulando a curricularização da extensão na reformulação curricular, conforme prevê a Resolução nº 7 MEC/CNE/CES, de 18 de dezembro de 2018, no qual os cursos de graduação devem ter atividades de extensão equivalentes a 10% de sua carga horária.

Novos tópicos em disciplinas do eixo técnico (Operações Unitárias, Projeto de Reatores e Projeto Integrador III - disciplina nova), e o conteúdo pode ser aplicado na forma de resolução de exercícios utilizando o método *GHG Protocol* para contabilização das emissões de carbono a partir de um cenário pré-determinado pelo docente nos projetos de equipamentos.

Abordagens mais aprofundadas no eixo de disciplinas consolidadoras (Desenvolvimento de Processos e Produtos Químicos, Projeto de Processos Químicos e Projeto de Instalações Químicas), visto que o estudo de caso desenvolvido foi baseado em uma atividade da disciplina de Projeto de Processos Químicos e Projeto de Instalações Químicas, no qual o aluno/equipe pode ser responsável por definir os dados de consumo da unidade industrial precisa projetar.

Há a possibilidade de criação de uma disciplina optativa técnica (Mudanças Climáticas e Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa), ofertada anualmente, de 4 créditos, utilizando-se de todo o conteúdo deste trabalho, desde o referencial teórico até a proposição de exercícios com aplicação do método *GHG Protocol*, abordando toda a parte teórica sobre mudanças climáticas, governança climática, como quantificar as emissões de gases de efeito estufa e estratégias de descarbonização. Nesta disciplina optativa também haveria a possibilidade de envolver estudos de casos reais em parcerias com empresas, como citado anteriormente.

Projetos do grupo PET-EQ (Programa de Educação Tutorial do curso de Engenharia Química) podem aproveitar o estudo do atual trabalho para aplicação no projeto Pegada PET, para contabilização das emissões geradas a partir de atividades realizadas pelo grupo, como por exemplo a participação em um evento. Ou seja, com o deslocamento dos alunos para o evento é possível saber quantas mudas eles poderiam plantar para compensar essas emissões.

Também é possível a criação de uma Atividade Curricular de Integração Ensino, Pesquisa e Extensão (ACIEPE) abordando uma introdução teórico-prática do método *GHG Protocol* para contabilização das emissões de carbono. As ACIEPEs são uma experiência educativa, cultural e científica que, articulando o Ensino, a Pesquisa e a Extensão procuram viabilizar e estimular o seu relacionamento com diferentes segmentos da sociedade, sendo equivalentes a uma disciplina de 4 (quatro) créditos. No que tange a comunidade externa, a ACIEPE busca democratizar o acesso ao conhecimento elaborado na universidade, configurando-se em cursos de 60 horas e disponibilizando certificação autenticada pela UFSCar (Edital ACIEPE, 2023). Os alunos veteranos de graduação e pós-graduação, no contexto de suas linhas de pesquisa, poderiam compor uma equipe com o docente responsável para ofertar anualmente a ACIEPE (com possibilidade de bolsistas), a qual pode ser institucionalizada dentro do próprio Projeto

Pedagógico do Curso com oferta regular permanente, consolidando a curricularização da extensão.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão bibliográfica realizada ofereceu um material de suporte teórico sobre mudanças climáticas, governança climática e metodologias para quantificação de carbono. O estudo sobre o método *GHG Protocol* permitiu concluir que esse é o método mais utilizado para quantificação e de fácil acesso a orientações com base nos dados disponíveis. Sendo assim, a demonstração do cálculo no estudo de caso modelo utilizando conteúdo de duas disciplinas do curso comprova a viabilidade de futuras aplicações do conteúdo para ensino em novas disciplinas, disciplinas já existentes, projetos de extensão e ACIEPEs.

O uso da metodologia e o exercício de elaborar planos de ação preparam os engenheiros químicos para as novas demandas do mercado de trabalho, pois a medição e gestão adequadas das emissões de carbono podem trazer benefícios significativos para as organizações, como a identificação de oportunidades de redução de custos, a mitigação de riscos relacionados às mudanças climáticas, melhoria da eficiência operacional, e promoção da responsabilidade ambiental e social. O que não é medido não é gerenciado, e este conhecimento, alinhado ao amplo conhecimento sobre processos industriais, tornam o engenheiro químico qualificado para as novas necessidades do mercado de trabalho, visto que a sustentabilidade se tornou uma prioridade para muitas empresas e governos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISSO 14065:3: Gases de efeito estufa: Especificação e orientação para a validação e verificação de declarações relativas a gases de efeito estufa.** Rio de Janeiro, 2007.

ACIEPE (Ação Científica, Internacionalização, Ensino, Pesquisa e Extensão). **Editais ACIEPE 2023/02.** Publicado em 3 de julho de 2023. Disponível em: <<https://www.proex.ufscar.br/editais-1/editais>>. Acesso em: 31 de julho de 2023.

ANGELO, E.A.; VILAS-BÔAS, G.T.; CASTRO-GÓMEZ, R.J.H. **Bacillus thuringiensis: características gerais e fermentação.** Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 31, n. 4, p. 945-958, 2010.

AYOADE, J. **Introdução a climatologia para os trópicos.** 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 332 p.

BASTIANONI, S. *et al.* The connection between 2006 IPCC GHG inventory methodology and ISO 14064-1 certification standard: a reference point for the environmental policies at sub-national scale. **Environmental Science & Policy**, v. 44, p. 97-107, dezembro, 2014.

BCSD (CONSELHO EMPRESARIAL PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL). **Normas Corporativas de Transparência e Contabilização**, Portugal, p 1-114, 2008.

BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Resolução nº 7, de 18 de dezembro de 2018.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 20 dez. 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Fator médio de emissão do Sistema Interligado Nacional do Brasil.** Brasília, 2019. Disponível em: https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html.

CALCULATION TOOLS AND GUIDANCE. **GHG Protocol**, 2023. Disponível em: <<https://ghgprotocol.org/calculation-tools-and-guidance>>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

CDP - Carbon Disclosure Project. **Sobre o CDP.** Disponível em <http://www.cdpla.net/sobre_cdp.php?id=p> Acesso em: 4 de junho de 2023.

CONCLUSÕES DO RELATÓRIO DO IPCC DE 2022 SOBRE MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **WRI – World Resources Institute Brasil**. Disponível em: <<https://www.wribrasil.org.br/noticias/6-conclusoes-do-relatorio-do-ipcc-de-2022-sobre-mitigacao-das-mudancas-climaticas>>. Acesso em: 4 de junho de 2023.

CONFERÊNCIAS AMBIENTAIS: QUAIS FORAM AS PRINCIPAIS DA HISTÓRIA? **Summit mobilidade**, 2021. Disponível em: <<https://summitmobilidade.estadao.com.br/sustentabilidade/conferencias-ambientais-quais-foram-as-principais-da-historia/>>. Acesso em 10 de março de 2023.

CONFERÊNCIA INTERNACIONAIS SOBRE O MEIO AMBIENTE. **CETESB PROCLIMA**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/proclima/conferencias-internacionais-sobre-o-meio-ambiente/estocolmo/>>. Acesso em: 4 de junho de 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. **Estratégias Corporativas de Baixo Carbono: Gestão de Riscos e Oportunidades**. Brasília, 1-56 p, 2011.

COP-27: O MAIOR ENCONTRO DO MUNDO SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Neoenergia**. Disponível em: <<https://www.neoenergia.com/w/cop-27-o-maior-encontro-do-mundo-sobre-mudancas-climaticas>>. Acesso em: 10 de março de 2023.

CLIMATE CHANGE: SCIENCE AND IMPACTS FACTSHEET. **Center for Sustainable Systems, University of Michigan**, 2022. Disponível em: <<https://css.umich.edu/publications/factsheets/climate-change/climate-change-science-and-impacts-factsheet>>. Acesso em: 10 de março de 2023.

GASES DO EFEITO ESTUFA. **CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo)**, 2023. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/proclima/gases-do-efeito-estufa/#:~:text=CO2%20%E2%80%93%20Respons%C3%A1vel%20por%20cerca%20de,e%20sumidouros%2C%20que%20tem%20a>>. Acesso em: 4 de junho de 2023.

GÁS METANO: O QUE É, CARACTERÍSTICAS E EFEITOS. **ECYCLE**, 2022. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/metano/>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2023.

IPCC: A ORGANIZAÇÃO POR TRÁS DO RELATÓRIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **ECYCLE**, 2022. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/ipcc/>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2023.

IPCC - Summary for policymakers. In: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013, 27p.

IPCC. **WORKING GROUPS/TASK FORCE**, 2023. Disponível em: https://archive.ipcc.ch/working_groups/working_groups.shtml. Acesso em: 22 de fevereiro de 2023.

DIAS, M. A. F. da S. Efeito estufa e mudanças climáticas regionais. **Revista USP**, [S. l.], n. 71, p. 44-51, 2006. DOI: 10.11606/issn.2316-9036.v0i71p44-51. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/13550>. Acesso em: 5 de julho de 2023.

ENTENDA O QUE SÃO AS SCIENCE BASED TARGETS (SBTi). **ECYCLE**, 2022. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/science-based-targets-sbti/>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2023.

ENTENDENDO OS POTENCIAIS DE AQUECIMENTO GLOBAL. **EPA (United States Environmental Protection Agency)**, 2023. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>>. Acesso em: 10 de julho de 2023.

GLOBAL ANTHROPOGENIC NON-CO2 GREENHOUSE GAS EMISSIONS: 1990-2030. **EPA**, 2012. Disponível em: <<https://www.epa.gov/global-mitigation-non-co2-greenhouse-gases/global-non-co2-ghg-emissions-1990-2030>>. Acesso em: 29 de agosto de 2023.

MARENGO, Jose A.; SCARANO, Fabio R. **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. 2017. Disponível em: <https://ppgoceano.paginas.ufsc.br/files/2017/06/Relatorio_DOIS_v1_04.06.17.pdf>. Acesso em: 10 de junho de 2023.

MARENGO, J. A.; KLUG, L.; LUEDEMANN, G. **Mudanças climáticas e os desafios brasileiros para implementação da nova agenda urbana.** Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9184/1/Mudan%C3%A7as%20clim%C3%A1ticas.pdf>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2023.

MARCATO, G. R. **A sustentabilidade na formação de engenheiras e engenheiros químicos da UFSCar: Percepções, demandas e perspectivas.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

MEC. **Ministério da Educação.** Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2023.

MOREIRA, L. **Comparação entre os poluentes atmosféricos e ruídos emitidos por uma caldeira flamotubular movida a gás natural e a óleo combustível BPF 2A.** 2007. Trabalho de pós graduação – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande.

NASCIMENTO, Francisco. **Metodologia da Pesquisa Científica: teoria e prática – como elaborar TCC.** Thesaurus, 2016.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal.** São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1981. 440p.

OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO DO MILÊNIO. **ODM Brasil.** Disponível em: <<http://www.odmbrasil.gov.br/os-objetivos-de-desenvolvimento-do-milenio>> Acesso em: 10 de fevereiro de 2023.

ÓXIDO NITROSO: O QUE É E QUAIS SÃO SEUS IMPACTOS. **ECYCLE,** 2022. Disponível em: < <https://www.ecycle.com.br/oxido-nitroso/>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2023.

PALHOSA, Adrielle. **Análise das emissões de gases de efeito estufa no processo de fundição de carcaças de motores elétricos de ferro fundido cinzento usando o método GHG Protocol.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Santa Catarina, 2021.

PEIXOTO, R. A.; JÚNIOR, S. X. H.; GODOI, A. R. **EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NOS PROCESSOS INDUSTRIAIS: Emissões na produção e no consumo de HFCs e PFCs.** Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília, 2010.

PROGRAMA BRASILEIRO DE GHG PROTOCOL – GUIA PARA ELABORAÇÃO DE INVENTÁRIOS CORPORATIVOS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA - GVces (Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas). **CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo)**, 2008. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/inventario-gee-sp/2008/10/24/guia-para-a-elaboracao-de-inventarios-corporativos-de-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-gee/>>. Acesso em: 10 de março de 2023.

RIO +10 E RIO+20. **TodaMateria**. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/rio-10/>>. Acesso em: 10 de março de 2023.

RODACOSKI, J.; ANDRADE, C. Cálculos e análises para o plantio de árvores na compensação das emissões de gases do efeito estufa emitido pelo gado. **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, p. 633 – 645, Maio/Ago, 2014. Disponível em: <[https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/viewFile/1977/2288#:~:text=Como%20Mike%20McAliney%20estima%20\(...,adultas%20para%20compensar%20uma%20vaca!>](https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/viewFile/1977/2288#:~:text=Como%20Mike%20McAliney%20estima%20(...,adultas%20para%20compensar%20uma%20vaca!>)>. Acesso em: 10 de julho de 2023.

SANTOS, T. S. S. *et al.* **Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo, v. 20 n. 4, p. 595-602, out./dez. 2015. Disponível em: Acesso em: 22 maio de 2023.

SINERGIA ENGENHARIA. **Inventário de gases de efeito estufa: o que você precisa saber**, 2022. Disponível em: <<https://sinergiaengenharia.com.br/noticias/inventario-de-gases-de-efeito-estufa-o-que-voce-precisa-saber/>>. Acesso em: 21 de julho de 2023.

SINGH, N.; BACHER, E. K. **Guia para elaboração de programas mandatórios de relato de gases de efeito estufa**. World Resources Institute, Washington DC, 2018.

SCHWARTZAAPT, B.; TRINDADE, T. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa em uma indústria de fertilizantes**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Ambiental – FAE Centro Universitário, 2016.

TUBELIS, A. & NASCIMENTO, F. J. DE **Meteorologia Descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Ed. Nobel, 1980. 374p.