

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - *CAMPUS* BAMBUÍ

LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Joanny Lauren Lima

**EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO PROCESSO PRODUTIVO
DE MEL E PRÓPOLIS: DIAGNÓSTICO E PROPOSTA DE REDUÇÃO DE
EMISSÕES**

BambuÍ
2025

JOANNY LAUREN LIMA

**EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO PROCESSO PRODUTIVO
DE MEL E PRÓPOLIS: DIAGNÓSTICO E PROPOSTA DE REDUÇÃO DE
EMISSÕES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas do Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus* Bambuí para obtenção do grau de licenciada em Ciências Biológicas.

Orientadora: Profa. Dra. Ludimilla Portela Zambaldi Lima Suzuki.

Bambuí
2025

Joanny Lauren Lima

**EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO PROCESSO PRODUTIVO
DA EMPRESA BEE PRÓPOLIS: DIAGNÓSTICO E PROPOSTA DE
REDUÇÃO DE EMISSÕES**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Licenciatura em
Ciências Biológicas do Instituto Federal
de Minas Gerais - *Campus* Bambuí para
obtenção do grau de licenciada em
Ciências Biológicas.

Aprovado em: ___/ ___/ _____pela banca examinadora:

Profª. Dra. Ludimilla Portela Zambaldi- Lima Suzuki (Orientadora)

L732e Lima, Joanny Lauren.

Emissões de gases de efeito estufa no processo produtivo de mel e própolis: diagnóstico e proposta de redução de emissões [manuscrito] / Joanny Lauren Lima – 2025.

56 f. : il. ; color.

Orientadora: Ludimilla Portela Zambaldi Lima Suzuki.
Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus Bambuí*, 2025.

1. GHC *protocol*. 2. Emissões. 3. GEE. 4. Impacto ambiental.
I. Suzuki, Ludimilla Portela Zambaldi Lima. II. Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus Bambuí*. III. Título.

CDD 638.1

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente à professora Ludimilla Portela Zambaldi Lima Suzuki as horas dedicadas a me instruir na construção deste trabalho.

Agradeço aos meus familiares e amigos todo o incentivo.

E ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus Bambuí*, todo aprendizado até aqui.

“Semear ideias ecológicas e plantar sustentabilidade é ter a garantia de colhermos um futuro fértil e consciente”.

Sivaldo Filho

RESUMO

As mudanças climáticas representam um dos maiores desafios ambientais e socioeconômicos da atualidade, demandando esforços coletivos para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) em diferentes setores produtivos. Nesse contexto, torna-se essencial avaliar e propor estratégias sustentáveis para cadeias produtivas diversas, incluindo a apicultura e seus derivados, cuja relevância cresce tanto no mercado interno quanto externo. O presente trabalho teve como objetivo principal diagnosticar as emissões de GEE geradas no processo produtivo da empresa Bee Própolis, atuante no setor de apicultura e produtos derivados do mel. Diante da crescente preocupação com as mudanças climáticas e a necessidade de adequação a práticas sustentáveis, este estudo buscou quantificar as emissões associadas às atividades industriais da empresa, desde a extração e processamento da própolis até o envase e distribuição dos produtos. A metodologia adotada baseou-se no uso de ferramentas de inventário de emissões, como o *GHG Protocol*, permitindo a identificação das principais fontes emissoras dentro dos escopos 1 (emissões diretas), 2 (emissões indiretas por consumo de energia) e, quando possível, escopo 3 (outras emissões indiretas). A análise dos dados permitiu identificar quais etapas do processo apresentam os maiores impactos ambientais e, com isso, formular estratégias de mitigação direcionadas às principais fontes de emissão. As principais emissões observadas foram provenientes da aquisição de energia elétrica (3.376,043 toneladas de CO₂) e da distribuição (“downstream”) das mercadorias (5.890,420 toneladas de CO₂). Entre as propostas de redução de emissões, destacam-se a adoção de fontes de energia renovável, a modernização de equipamentos com maior eficiência energética e a implementação de boas práticas ambientais na logística e no descarte de resíduos. Além de contribuir para a redução do impacto ambiental, tais medidas podem fortalecer a imagem institucional da Bee Própolis, gerar economia de recursos e alinhar a empresa aos princípios da sustentabilidade e responsabilidade socioambiental.

Palavras-chave: *GHG protocol*, emissões, GEE, impacto ambiental.

ABSTRACT

Climate change represents one of the greatest environmental and socio-economic challenges of our time, requiring collective efforts to reduce greenhouse gas (GHG) emissions across different productive sectors. In this context, it becomes essential to assess and propose sustainable strategies for diverse production chains including beekeeping and its derivatives whose relevance is growing in both the domestic and international markets. The main objective of the present study is to diagnose the GHG emissions generated in the production process of the company Bee Propolis, operating in the beekeeping sector and in honey-derived products. Given the increasing concern about climate change and the need to adopt sustainable practices, this study seeks to quantify the emissions associated with the company's industrial activities from the extraction and processing of propolis to bottling and distribution of products. The methodology adopted was based on the use of emissions-inventory tools such as the GHG Protocol, allowing the identification of the main emission sources within Scope 1 (direct emissions), Scope 2 (indirect emissions from energy consumption), and, when possible, Scope 3 (other indirect emissions). Data analysis enabled the identification of which stages of the process have the greatest environmental impact and, consequently, the formulation of mitigation strategies targeted at the main sources of emissions. The highest emissions observed originated from energy procurement (electricity) 3, 376.043 tonnes of CO₂ and from downstream product distribution 5, 890.420 tonnes of CO₂. Among the proposed emission-reduction measures are the adoption of renewable energy sources, the modernization of equipment for greater energy efficiency, and the implementation of good environmental practices in logistics and waste disposal. In addition to contributing to the reduction of the environmental impact, these measures can strengthen Bee Propolis's institutional image, generate resource savings, and align the company with the principles of sustainability and socio-environmental responsibility.

Keywords: GHG protocol, emissions, GHG, environmental impact

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVOS.....	12
	2.1 Objetivo geral.....	12
	2.2 Objetivos específicos:	12
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
	3.1 Aquecimento Global - Importância Mundial	13
	3.2 Os gases GEE.....	14
	3.3 Impactos dos gases do efeito estufa	15
	3.4 Participação dos setores na geração de gases.....	17
	3.5 Inventário de gases do efeito estufa	18
	3.6 GHG Protocol	20
	3.7 Empresas participantes	21
	3.8 Relato das emissões de GEE	21
	3.9 Estratégias Empresariais para Redução das Emissões de GEE.....	22
4	METODOLOGIA.....	22
	4.1 Produtos Comercializados	23
	4.2 Escolha do método de quantificação dos gases do efeito estufa	24
	4.3 Levantamento das fontes de emissão e estruturação do inventário de GEE	25
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
	5.1 Definição dos limites organizacionais.....	27
	Na reunião inicial com o gestor, foi apresentada a estrutura organizacional e operacional da empresa, que se encontra dividida em dois setores principais: o setor primário, responsável pela produção e recepção da matéria-prima (mel e própolis), e o setor industrial, onde ocorre o processamento desses insumos, resultando em produtos derivados, como xaropes e compostos apícolas.....	27
	5.2 Escopo de emissões.....	29
	5.3 Funcionamento da Ferramenta	30
	5.4 Coleta de dados	30
	5.5 Método de cálculo.....	38
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
	EUROPEAN PARLIAMENT; COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION.....	48

1 INTRODUÇÃO

Aquecimento global refere-se ao aumento gradual (observado ou projetado) na temperatura da superfície global como uma das consequências do forçamento radioativo (mudança na irradiação vertical líquida), causado, em grande parte, pelas emissões antropogênicas (IPCC (2007), apud Carvalho *et al.* (2011, p. 221). É responsável pelo aumento da temperatura terrestre, ocasionado pelo grande acúmulo de gases poluentes em toda a atmosfera, como o dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄), entre outros.

Os gases do efeito estufa desempenham um papel fundamental na manutenção das condições necessárias para a vida na Terra. Eles atuam na retenção de parte da radiação térmica emitida pela superfície terrestre, contribuindo para a regulação da temperatura média global e evitando variações térmicas extremas (APA, Vancouver etc.).

Esse mecanismo natural torna o planeta habitável, permitindo a existência de água em estado líquido e sustentando processos vitais, como o ciclo hidrológico e a fotossíntese. No entanto, o aumento excessivo da concentração desses gases, provocado principalmente por atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento, tem intensificado o efeito estufa, levando ao aquecimento global e a desequilíbrios ambientais significativos.

Os principais gases de efeito estufa (GEE) são o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). As emissões de CO₂ estão associadas ao uso de combustíveis fósseis e às mudanças de uso da terra; o CH₄ provém, principalmente, de atividades agrícolas e da queima de combustíveis fósseis, enquanto as emissões de N₂O devem-se, sobretudo, à agricultura (IPCC, 2007).

O dióxido de carbono (CO₂) é o principal responsável pelas contribuições humanas ao aquecimento global. Embora outros gases de efeito estufa possuam maior potencial de aquecimento por molécula, o CO₂ domina o impacto climático devido ao seu alto volume de emissões e à sua longa permanência na atmosfera (SANTÉE *et al.*, 2016).

Dentre os diferentes setores das atividades humanas que contribuem para as emissões de GEE no mundo, o de energia e o industrial são os mais significativos. O valor das emissões globais atuais dos setores de energia e industrial de um único ano atingiu as maiores contribuições para o aquecimento global ao longo de uma escala de tempo de 100 anos (MYHRE *et al.*, 2013).

Considerando as mudanças climáticas significativas e suas consequências para as atividades

humanas, sejam elas econômicas, sociais ou culturais, muitos países e instituições reconheceram a necessidade de quantificar as emissões de gases, com o objetivo de avaliar a contribuição de cada atividade e, assim, implementar medidas mais eficazes para a redução dessas emissões. A elaboração de inventários visando à quantificação de emissões de GEE é o primeiro passo para que uma instituição ou empresa possa contribuir para o combate ao aquecimento global, fenômeno crítico que impacta a humanidade neste início de século. Conhecendo o perfil de emissões, a partir do diagnóstico do inventário, qualquer organização pode dar o passo seguinte, de estabelecer planos e metas para redução e gestão das emissões de gases de efeito estufa, engajando-se na solução desse desafio que atinge o Planeta (FGV,2009).

Para que possam ser promovidas ações de redução das emissões de GEE, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas, as empresas precisam saber, primeiramente, o quanto emitem e qual a origem dessas emissões. Uma vez que iniciam a prática de inventários, passam a estudar possibilidades de mitigação em suas operações. São vários os benefícios que as organizações podem obter a partir dessa iniciativa: oportunidades de redução de custos, criação de *benchmark*, oportunidades para melhorar a competitividade, participar de mercados de emissões de GEE, prestar contas aos acionistas e *stakeholders*, replicabilidade e impacto em cadeia, traçar e alcançar metas de responsabilidade socioambiental, avaliar passivos e preparar-se para futuras políticas de emissões de GEE, além de garantir oportunidades no mercado internacional (LEWANDOWSKI; ULLRICH, 2023).

Escolher a empresa Bee Própolis, localizada no município de Bambuí-MG, para realizar um TCC sobre o inventário de gases poluentes pode ser fundamentado em várias razões que fazem sentido tanto para o contexto local quanto para a relevância ambiental e acadêmica do estudo. A empresa Bee Própolis trabalha com a produção de própolis e outros produtos derivados de abelhas. Esse setor agrícola e de apicultura pode ser fonte de emissões de gases poluentes, principalmente pela utilização de maquinários, transporte de produtos e processamento. Ao realizar um estudo de inventário de gases poluentes, a empresa Bee Própolis pode obter um diagnóstico detalhado sobre as emissões associadas aos seus processos. Isso pode ajudar a empresa a adotar medidas mais sustentáveis e alinhadas com as normas ambientais, o que pode ser um diferencial competitivo. Além disso, o estudo pode contribuir para a certificação ambiental da empresa, podendo ser vantajoso para seu posicionamento no mercado e para a construção de uma imagem positiva.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi quantificar as emissões de gases de efeito estufa geradas durante o processo de produção industrial de própolis e mel e identificar as atividades de maior emissão na empresa, além de propor sugestões para reduzir ou eliminar fontes específicas de emissões, contribuindo para a melhoria da eficiência ambiental da organização.

2.2 Objetivos específicos:

- Identificar e classificar as fontes de emissões em cada setor da empresa, para os processos produtivos de mel e própolis;
- Mensurar a quantidade de gases de efeito estufa emitidos pela empresa no ano de 2023;
- Classificar as fontes de maior emissão de GEE na empresa em 2023;
- Listar as fontes potenciais de emissões que a empresa não consegue ou não pôde fornecer;
- Desenvolver estratégias e medidas a serem propostas à empresa para a redução da emissão dos gases.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Aquecimento Global - Importância Mundial

Uma das características da atmosfera terrestre é o aprisionamento de calor proveniente do sol através do processo de radiação, mecanismo conhecido por efeito estufa terrestre, e que tem sua origem na própria dinâmica natural do planeta (Mendonça, 2003). O efeito estufa é essencial para a vida na Terra, retendo parte do calor irradiado pela superfície terrestre, evitando que ele escape para o espaço. O fenômeno que hoje tanto desperta preocupação da sociedade é a intensificação do aquecimento da baixa atmosfera, particularmente da troposfera, a camada sobre a qual voltam-se os estudos da climatologia.

Segundo Nieuwolt e McGregor (1998, p. 311), as “mudanças climáticas podem ser consideradas em duas escalas temporais: mudanças de longa duração que são superiores a 20.000 anos, e mudanças de curta duração que podem ocorrer entre 100 e 20.000 anos. A variabilidade climática refere-se a mudanças de década a década e de ano a ano”.

O termo aquecimento global (IPCC, 2007) refere-se ao aumento gradual (observado ou projetado) na temperatura da superfície global, como uma das consequências do forçamento radioativo (mudança na irradiação vertical líquida) causado pelas emissões antropogênicas. Ele é o responsável pelo aumento da temperatura terrestre, ocasionado pelo grande acúmulo de gases, como o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) dentre outros presentes na atmosfera. Uma das características desses gases é que eles mantêm o gás simulando uma estufa.

O aquecimento global refere-se ao aumento gradual da temperatura média da Terra, causado principalmente pela emissão de gases de efeito estufa (GEE). Este fenômeno representa uma das maiores ameaças globais, impactando climas, ecossistemas, sociedades e economias. O aumento das temperaturas leva a eventos climáticos extremos, como secas, inundações e tempestades, além de contribuir para a elevação do nível do mar, afetando regiões costeiras e provocando deslocamentos populacionais. (GAGNON, 2022, p.1).

Um aumento de 1,5 °C na temperatura global poderia expor cerca de 350 milhões de pessoas à escassez de água causada por secas severas. Se o aquecimento atingir 2 °C, esse número pode chegar a 420 milhões. Além disso, projeções indicam que, com o aquecimento de 1,5 °C, a frequência de chuvas torrenciais e furacões pode aumentar em aproximadamente 7%; já com um acréscimo de 0,5 °C adicional, esse valor pode chegar a 15% (IPCC, 2022).

Os efeitos do aquecimento global sobre a saúde dar-se-ão a longo prazo, ao contrário daqueles decorrentes de episódios climáticos extremos que ocorrem em curto e prazo (Gatrell 2002). Neste particular, é preciso notar que há uma interação direta entre os impactos de

fenômenos de ordem natural e as condições socioeconômico-tecnológicas das diversas sociedades humanas: as populações menos aquinhoadas encontram-se mais expostas aos riscos e, portanto, são mais vulneráveis do que aquelas dos países ricos e desenvolvidos (MENDONÇA, 2003).

Diante dessa realidade, marcada por desigualdades sociais que ampliam os impactos das mudanças climáticas e dos eventos climáticos extremos, tornaram-se importantes as iniciativas coletivas e internacionais. No ano de 2022, completa-se meio século de discussões mundiais voltadas à proteção do meio ambiente, que tiveram seu marco na Conferência da ONU sobre Meio Ambiente Humano (Conferência de Estocolmo), no ano de 1972. Temas bastante discutidos desde então são a necessidade de redução da poluição atmosférica e do aquecimento global. A conferência de Estocolmo surge como um momento histórico no que diz respeito às questões do Meio Ambiente, abre discussões em diversos contextos, econômico, político e científico (Sousa, 2024).

3.2 Os gases GEE

Os GEE são capazes de absorver a radiação infravermelha refletida pelo nosso planeta, reemitindo-a em todas as direções, caracterizando o efeito estufa (Scabin, 2024). Esse processo faz com que a temperatura média aumente, sendo natural e essencial para a vida terrestre. Porém, a ação antrópica (ações humanas que emitem gases de efeito estufa como: desmatamento; queimadas; queima de combustíveis fósseis; atividades industriais) tem aumentado a concentração dos GEE de forma exagerada, resultando no aquecimento global e mudanças climáticas extremas. São considerados os principais Gases de efeito estufa – GEE o dióxido de carbono – CO₂, O dióxido de carbono é o principal gás de efeito estufa de origem antrópica, tanto pela elevada quantidade emitida quanto por sua permanência na atmosfera. É liberado principalmente pela queima de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás natural, além do desmatamento e de mudanças no uso do solo.

Embora apresente um Potencial de Aquecimento Global (PAG) igual a 1, sendo a unidade de referência, sua relevância climática decorre do grande volume de emissões e do longo tempo de permanência na atmosfera, podendo influenciar o clima por séculos. O metano – CH₄, O metano é um gás de efeito estufa com elevada capacidade de retenção de calor, apresentando um PAG aproximadamente 28 vezes superior ao do CO₂ em um horizonte de 100 anos. Suas principais fontes de emissão incluem a agropecuária, especialmente a fermentação entérica de ruminantes, a decomposição de resíduos orgânicos em aterros sanitários, o tratamento de esgoto e vazamentos na produção e transporte de combustíveis fósseis. Apesar de possuir menor tempo de vida atmosférica em comparação ao CO₂, o metano exerce forte impacto no aquecimento

global no curto e médio prazo. o óxido nitroso – N₂O, O óxido nitroso é um gás de efeito estufa altamente potente, com PAG cerca de 265 a 298 vezes maior que o do CO₂. É emitido principalmente por atividades agrícolas, em especial pelo uso de fertilizantes nitrogenados, manejo de solos e dejetos animais, além de processos industriais e da queima de biomassa. O N₂O possui longa vida atmosférica e contribui não apenas para o aquecimento global, mas também para a degradação da camada de ozônio, o que reforça sua relevância ambiental. o ozônio (O₃) e os clorofluorcarbonos – CFCs (causadores do “buraco” na camada de ozônio) como o hexafluoreto de enxofre (SF₆) e duas famílias de gases importantes para o efeito estufa: os hidrofluorcarbonetos (HFC) e os perfluorcarbonetos (PFC) (Scabin, 2024).

Os gases fluorados constituem um grupo de gases sintéticos utilizados principalmente em processos industriais, sistemas de refrigeração, ar-condicionado, espumas isolantes e equipamentos elétricos. Entre eles destacam-se os hidrofluorcarbonetos (HFCs), perfluorcarbonetos (PFCs) e o hexafluoreto de enxofre (SF₆). Esses gases apresentam potenciais de aquecimento global extremamente elevados, podendo ser milhares de vezes superiores ao do CO₂, além de elevada persistência na atmosfera. Embora sejam emitidos em menores quantidades, seu impacto climático é significativo devido à alta eficiência em reter calor.

Entre as principais atividades humanas que causam o aquecimento global, estão a queima de combustíveis fósseis (derivados do petróleo, carvão mineral e gás natural) para geração de energia, atividades industriais e transportes, o desmatamento e a agropecuária (MLYNCZAK *et al.*, 2016). No Brasil, o desmatamento tem sido responsável pela maior parte das nossas emissões e faz o país ser um dos líderes mundiais em emissões de gases de efeito estufa. Isso porque as áreas de florestas e os ecossistemas naturais são grandes reservatórios e sumidouros de carbono por sua capacidade de absorver e estocar CO₂. Mas, quando acontece um incêndio florestal ou uma área é desmatada, esse carbono é liberado para a atmosfera, contribuindo para o aquecimento global. Além disso, as emissões de GEE por outros setores, como agropecuária e energia, vêm aumentando consideravelmente ao longo dos anos (LI *et al.*, 2024).

3.3 Impactos dos gases do efeito estufa

Os danos causados pelo aquecimento global em todo o mundo estão cada vez mais claros, e a recuperação de desastres climáticos já está custando bilhões de dólares (Garcia, 2023). Assim, à medida que os eventos extremos ficam mais frequentes e graves, o aumento de custos para lidar com catástrofes climáticas tem levado governos a reduzir ou até mesmo a abandonar esforços para diminuir suas emissões de gases de efeito estufa, o que tende a resultar em

temperaturas mais altas e outras alterações climáticas, trazendo consequências mais graves, requerendo ainda mais recursos.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Florestas-IBF (2024), dentre as consequências do aquecimento global, temos as transformações estruturais e sociais do planeta provocadas pelo aumento das temperaturas, das quais podemos citar:

- Elevação das temperaturas dos oceanos e derretimento das calotas polares;
- Possíveis inundações de áreas costeiras e cidades litorâneas, em função da elevação do nível dos oceanos;
- Aumento da insolação e radiação solar, em virtude do aumento do buraco da camada de ozônio;
- Intensificação de catástrofes climáticas, tais como furacões e tornados, secas, chuvas irregulares, entre outros fenômenos meteorológicos de difícil controle e previsão;
- Extinção de espécies, em razão das condições ambientais adversas para a maioria delas;
- Quedas e dificuldades na produção da agricultura, pecuária e silvicultura.

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima é uma base de cooperação internacional em que os países-membros buscam estabelecer políticas para reduzir e estabilizar as emissões de gases de efeito estufa em um nível no qual as atividades humanas não interfiram seriamente nos processos climáticos (WWF Brasil, 2024). A primeira reunião aconteceu em 1992, durante a ECO-92, Conferência Internacional sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, no Rio de Janeiro (RJ). O texto da convenção foi assinado e ratificado por 197 países, reconhecendo a necessidade de um esforço global para o enfrentamento das questões climáticas. Com a entrada em vigor da Convenção do Clima, os representantes dos diferentes países passaram a se reunir anualmente para discutir a sua implementação. Essas reuniões são chamadas de COPs (Conferências das Partes).

Outro acordo muito importante para se tratar sobre o aquecimento global foi o Protocolo de Quioto, um tratado internacional que estipula as metas de reduções obrigatórias dos principais gases de efeito estufa para o período de 2008 a 2012. Apesar da resistência por parte de alguns países desenvolvidos, foi acordado o princípio da responsabilidade comum, porém diferenciada (WWF Brasil, 2024). Assim, os países desenvolvidos e industrializados, por serem responsáveis históricos pelas emissões e por terem mais condições econômicas para arcar com os custos, seriam os primeiros a assumir as metas de redução até 2012, ano em que, durante a COP 18, em Doha, foi adotado um segundo período de compromisso, começando em

2013 e durando até 2020 (KIESSLING; PACHECO ALONSO, 2022).

O Acordo de Paris é um tratado internacional juridicamente vinculante sobre mudança climática. Foi adotado por 196 países na COP 21, em Paris, em 12 de dezembro de 2015, e entrou em vigor em 4 de novembro de 2016. Seu objetivo é manter o aumento da temperatura bem abaixo de 2 °C, com esforços para limitar a 1,5 °C, em relação aos níveis pré-industriais (WWF Brasil 2024). O Acordo de Paris é um marco no processo multilateral de mudança climática porque, pela primeira vez, um acordo vinculante reúne todas as nações em uma causa comum para empreender esforços ambiciosos, a fim de combater as mudanças climáticas e se adaptar a seus efeitos. O acordo histórico teve sucesso porque permitiu a cada país definir suas próprias metas de redução de emissões e adotar suas próprias estratégias para alcançá-las.

Anualmente, é realizada a Conferência da ONU sobre Mudanças Climáticas (COP) em países diferentes. Em 2024, ocorreu a 29ª Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas - a COP29, em Baku, capital do Azerbaijão. Entre as discussões, um dos maiores desafios da Conferência deve ser a manutenção das pautas de cumprimento do Acordo de Paris, além da urgência de ações de contenção das mudanças climáticas e das opções de financiamento para a crise climática global (UNFCCC, 2024).

3.4 Participação dos setores na geração de gases

Mundialmente, a geração de GEE varia entre setores econômicos. O setor de energia é o maior responsável, seguido pela indústria, agricultura, transporte e resíduos. O setor energético, predominantemente dependente de combustíveis fósseis, contribui com a maior parte das emissões globais. A agricultura, por sua vez, é uma fonte significativa de metano e óxido nitroso, enquanto o transporte e a indústria apresentam desafios relacionados à eficiência energética e ao uso de tecnologias limpas (MMA,2025).

O Brasil emitiu 2,4 bilhões de toneladas brutas de gases de efeito estufa em 2021, um aumento de 12,2% em relação a 2020, quando o país havia emitido 2,1 bilhões de toneladas (SEEG 2023). É o maior aumento de emissões em quase duas décadas, superado apenas por 2003, quando elas cresceram 20% e atingiram seu pico histórico. A aceleração é mais do que duas vezes superior à média mundial estimada para o mesmo ano.

No estudo, ainda se afirma que:

O Brasil se mantém em posição elevada entre os maiores emissores do planeta: o país é o sétimo maior emissor de gases de efeito estufa do mundo, com 3% do total mundial, atrás de China (25,2%), EUA (12%), Índia (7%), União Europeia (6,6%), Rússia (4,1%) e Indonésia (4%). No entanto, como o desmatamento caiu na Indonésia nos

últimos anos e a série de dados globais só vai até 2019, é provável que o Brasil seja na realidade o sexto maior emissor (SEEG, 2023, p. 3).

Atualmente, no Brasil, os setores de transporte de carga, transporte de passageiros, produção de combustíveis, geração de eletricidade, edificações, outras matérias-primas e indústrias, agropecuária (finalidade não identificada), cimento e química são considerados os que mais emitem GEE (SEEG, 2024).

SEEG (2023) afirma que:

A alta do desmatamento, sobretudo na Amazônia, foi a principal responsável pelo aumento de emissões. Em 2021, a poluição climática causada pelas mudanças de uso da terra subiu 18,5%. A destruição dos biomas brasileiros emitiu 1,19 bilhão de toneladas brutas de CO₂ equivalente (GtCO₂e) no ano retrasado — mais do que o Japão inteiro — contra 1 bilhão de toneladas em 2020.

- No setor de energia, a alta de emissões também foi de 12,5%, o maior salto em 50 anos. Foram emitidas 435 milhões de toneladas, contra 387 milhões em 2020. A alta se deve à retomada da economia no pós-Covid, mas também a uma seca extrema que prejudicou a geração das hidrelétricas e a uma queda no uso de etanol. O setor de processos industriais e uso de produtos também registrou alta, de 155,4 milhões de toneladas de CO₂ equivalente (MtCO₂e) em 2020 para 169,9 MtCO₂e em 2021.
- No setor de agropecuária, a alta de emissões foi de 3,8%, chegando a 601 milhões de toneladas de CO₂ equivalente, contra 579 milhões de toneladas em 2020. É o maior incremento percentual desde 2004 (aumento de 4,1%) e representa emissões maiores que as da África do Sul.
- O setor de resíduos registrou uma oscilação para baixo em suas emissões pela primeira vez na história: em 2021, o setor foi responsável pela emissão de 91,12 milhões de toneladas de CO₂ e uma queda de 0,12% em relação ao ano anterior. Essa discreta redução está, em grande parte, relacionada com o aumento da queima ou recuperação energética de metano (CH₄) em aterros sanitários (SEEG, 2023, p. 3).

3.5 Inventário de gases do efeito estufa

Um inventário de gases de efeito estufa é uma ferramenta que quantifica as emissões de GEE em um determinado território ou organização. A metodologia, geralmente, inclui a identificação de fontes de emissões, coleta de dados, cálculo das emissões e elaboração de relatórios.

O Inventário é fundamental para que se conheçam o nível de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e suas principais fontes. É um documento indispensável para a análise das questões relacionadas à intensificação do efeito estufa causado pelas atividades humanas, disponibilizando informações para a proposição de uma Política Municipal de Mudanças Climáticas e de um Plano de Ação que contemple medidas objetivas a serem adotadas para a mitigação das emissões dos GEE nos governos locais (FEAM, 2008).

É neste cenário alarmante que começaram a surgir iniciativas como a Política Nacional sobre Mudança no Clima – PNMC (Lei n.º 12.187, de 29 de dezembro de 2009). Essa lei federal traz o Inventário de Gases de Efeito Estufa como um dos principais instrumentos para gestão ambiental. Além da PNMC, existem legislações estaduais (como em São Paulo e Rio de Janeiro) que tornam obrigatória a realização do Inventário Corporativo de GEE para empresas de diversos setores.

Segundo o Decreto n.º 45.229, de 2009 (SETCEMG 2022), alterado pelo Decreto n.º 46.674, de 2014, fica instituído o Registro Público Voluntário das Emissões Anuais de Gases de Efeito Estufa de Empreendimentos no Estado de Minas Gerais. Trata-se de um programa que tem por finalidade estimular a prática sistemática de declarações dessas emissões, por meio do uso de metodologia internacionalmente aceita - *Greenhouse Gas Protocol*, ou *GHG Protocol* - bem como incentivar a redução dessas emissões, inclusive, por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, do Protocolo de Quioto.

O Registro é facultado a todos os empreendimentos, sendo considerado voluntário, independentemente de estarem sujeitos ao licenciamento ambiental ou à Autorização Ambiental de Funcionamento – AAF. Diante disso, fica claro que não é obrigatório desenvolver o levantamento dos dados para o Registro, porém, sem estes, não é possível efetuar o Inventário de GEE ou acompanhar os resultados da emissão de carbono em Minas Gerais. Além das vantagens proporcionadas ao meio ambiente e à qualidade de vida, a decisão de um empreendimento por realizar o Registro Público tem outros benefícios (SETCEMG, 2022).

Sobre os benefícios que as empresas recebem ao fazer o Inventário de Gases de Efeito Estufa, pode-se mencionar que o Programa que fomenta o Registro de Emissões de GEE, em Minas Gerais, promove o engajamento do setor privado na cultura ESG – Meio Ambiente, Social e Governança.

A SETCEMG (2022) declara que:

Desta forma, as empresas que adotam a realização do registro saem na frente de outras por trabalharem na frente ambiental com a coleta de dados sobre a emissão de gases de efeito estufa. Estas avançam no quesito social pela promoção da saúde e da qualidade de vida em função de formarem a base de dados do registro e, com isso, contribuírem para a implantação de políticas sobre o controle de carbono. Além disso, as empresas também despontam no quesito governança, ao direcionarem protocolos internos para atender às demandas necessárias para a coleta de informações sobre a emissão de GEE. As empresas alinhadas com a cultura ESG têm uma valorização da sua marca e seus produtos.

3.6 GHG Protocol

A *GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol)* é uma iniciativa internacional que oferece um conjunto de diretrizes amplamente utilizadas para medir, gerenciar e reportar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) das empresas e organizações. Sua principal fonte de análises se baseia em uma metodologia estruturada que categoriza e mensura as emissões em três escopos.

GHG Protocol é um pacote de padrões, orientações, ferramentas e treinamentos para que empresas e governos mensurem e gerenciem, de maneira voluntária, as emissões antropogênicas responsáveis pelo aquecimento global. Criado por uma parceria entre o *World Resource Institute (WRI)* e o *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)*, o *GHG Protocol* abrange padrões de contabilização de emissões e remoções de gases de efeito estufa (GEE) para cidades, setor corporativo, cadeia de valor, agropecuária, ciclo de vida do produto, entre outros. Os protocolos são, em sua maioria, desenvolvidos de forma abrangente e adaptados em diversos países para melhor atender a cada realidade. Ao estabelecer um modelo padronizado globalmente, o *GHG Protocol* permite que atores públicos e privados mensurem e reportem, de maneira confiável, o impacto climático de suas atividades em termos de emissão de GEE, possibilitando o planejamento de ações de mitigação (WRI BRASIL 2024).

O Programa Brasileiro *GHG Protocol* Brasil foi criado em 2008 e é responsável pela adaptação do método *GHG Protocol* ao contexto brasileiro e pelo desenvolvimento de ferramentas de cálculo para estimativas de emissões de gases do efeito estufa (GEE). Foi desenvolvido pelo FGVces e WRI em parceria com o Ministério do Meio Ambiente, Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), *World Business Council for Sustainable Development (WBSCD)* e 27 Empresas Fundadoras (FGV, 2024).

O programa possui os objetivos de estimular a cultura corporativa de inventário de emissões de GEE no Brasil para uma agenda de enfrentamento às mudanças climáticas e proporcionar instrumentos e padrões de qualidade internacional para contabilização das emissões e publicação dos inventários FGV (2024).

O cálculo das emissões de gases de efeito estufa (GEE), segundo o *GHG Protocol*, envolve uma metodologia estruturada que permite às organizações quantificar e reportar suas emissões de forma padronizada. Essa abordagem é amplamente adotada por empresas e governos para medir e gerenciar suas emissões de GEE de maneira eficaz.

Os gases CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆ e NF pertencem à categoria de gases de efeito estufa (GEE), ou seja, que contribuem para o aquecimento global ao reterem o calor na atmosfera. Apesar disso, eles diferem em suas fontes, potencial de aquecimento global (GWP) e tempo de permanência na atmosfera.

3.7 Empresas participantes

Diversas empresas adotam o *GHG Protocol* para reportar suas emissões. A participação de empresas de diferentes setores, como energia, transporte e manufatura, é importante não somente para mensurar suas emissões, mas também para implementar práticas para reduzir o impacto ambiental. Diante disso, certamente, as organizações empresariais serão um dos principais destinatários dessas políticas públicas, visto que mais da metade das emissões de GEE se originam de suas atividades; por isso, são consideradas os principais atores no que se refere à degradação ambiental associada às mudanças climáticas (PINKSE; KOLK, 2009; IMASATO, 2010).

Além da imposição legal oriunda da política pública, a decisão empresarial de adotar medidas para a redução de emissões de GEE se respalda em outros fatores: a melhoria operacional da empresa, a antecipação e influência sobre as regulamentações em relação à mudança climática, o acesso a novas fontes de capital e a elevação da reputação corporativa (KOLK; PINKSE, 2004, HOFFMAN, 2005, ESTY; WINSTON, 2006, LASH; WELLINGTON, 2007).

3.8 Relato das emissões de GEE

O relato das emissões de GEE deve ser feito de forma transparente e sistemática, seguindo os princípios do *GHG Protocol*. É um documento voluntário, podendo ser elaborado pela empresa ou por terceiros. É submetido à plataforma da FGV e pode ser publicado anualmente. Serve como ferramenta para identificar, monitorar e reduzir as emissões de GEE, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas.

Os relatórios incluem dados sobre as fontes de emissões, metodologias utilizadas, resultados de auditorias e metas de redução estabelecidas. A divulgação regular dessas informações não apenas cumpre requisitos legais, mas também melhora a reputação da empresa e fortalece o compromisso com a sustentabilidade.

A mensuração das emissões de gases de efeito estufa (GEE) em uma organização segue diretrizes estabelecidas pelo *GHG Protocol*, começando pela definição dos limites

organizacionais e operacionais, que determinam quais fontes de emissão serão consideradas no inventário. As emissões são classificadas em três escopos: o Escopo 1, que inclui as emissões diretas provenientes de fontes que pertencem ou são controladas pela organização, como veículos próprios e caldeiras; o Escopo 2, que abrange as emissões indiretas associadas à geração da eletricidade adquirida; e o Escopo 3, que compreende outras emissões indiretas que ocorrem na cadeia de valor, como transporte terceirizado, viagens a trabalho e disposição de resíduos. Após o mapeamento das fontes de emissão, a organização coleta dados de atividade, como quantidade de combustível consumida, energia elétrica utilizada ou toneladas de resíduos gerados, e aplica fatores de emissão específicos que indicam a quantidade de GEE emitida por unidade de atividade. Esses fatores são combinados com os potenciais de aquecimento global (GWP) de cada gás para converter todas as emissões em dióxido de carbono equivalente (CO₂e), permitindo a agregação e comparação entre diferentes gases. O resultado desse processo é consolidado em um relatório que descreve a metodologia adotada, apresenta os dados de emissões por escopo e gás e, quando aplicável, discute as incertezas envolvidas e as ações de mitigação. Esse relatório pode ser utilizado internamente ou registrado em plataformas públicas, como o Programa Brasileiro GHG *Protocol*, para garantir maior transparência e credibilidade.

3.9 Estratégias Empresariais para Redução das Emissões de GEE

As estratégias para redução de emissões de GEE variam de acordo com o setor e as características específicas de cada empresa. Entre as principais abordagens, estão a implementação de tecnologias mais eficientes, o uso de fontes de energia renovável, a melhoria na eficiência dos processos produtivos e a promoção de práticas de economia circular. A compensação de emissões, por meio de projetos de reflorestamento e de energias renováveis, também é uma estratégia adotada por muitas empresas. Além disso, a formação de parcerias e colaborações entre empresas e organizações governamentais e não governamentais é fundamental para o sucesso das iniciativas de mitigação.

4 METODOLOGIA

A empresa analisada no estudo está localizada no município de Bambuí, inserido da região da Serra da Canastra, berço da produção de própolis no Brasil. Fundada em 1995 por dois irmãos, iniciou suas atividades desenvolvendo produtos apícolas e, aos poucos, foi aumentando

sua cartela de clientes. Os gestores investiram em tecnologia e estudos e, em 1999, fizeram sua primeira exportação de própolis para o Japão - marco importante na história da empresa, quando puderam, também, investir mais no mercado externo.

Atualmente, a empresa é especializada na produção e comercialização de produtos apícolas, oferecendo uma ampla gama de produtos derivados das abelhas, atendendo tanto ao mercado nacional quanto internacional. A empresa possui um quadro de funcionários em torno de 200 trabalhadores e dispõe de modernas instalações com mais de 7.000 m² de área total e estrutura fabril adequada para abarcar todo o processo produtivo, desde a seleção de matéria-prima até a entrega do produto acabado, mantendo um rigoroso sistema de controle de qualidade e boas práticas de fabricação. Sua estrutura organizacional contempla áreas de gestão da produção, recursos humanos, controle de qualidade e atendimento ao cliente, além de programas de segurança e higiene ocupacional, como PPRA e PCMSO, e comissões internas que promovem um ambiente de trabalho seguro e colaborativo, favorecendo o desenvolvimento profissional dos colaboradores e a integração com a comunidade local por meio de estágios e parcerias educacionais. A empresa é reconhecida por sua atuação sustentável e pelo compromisso com o desenvolvimento socioeconômico da região, contribuindo para a geração de empregos e para o fortalecimento do setor apícola brasileiro.

4.1 Produtos Comercializados

A Bee Própolis Brasil produz extratos de própolis verde, vermelha e marrom, utilizando álcool neutro de cereais ou água deionizada. Esses extratos são conhecidos por suas propriedades antimicrobianas, anti-inflamatórias e antioxidantes, sendo amplamente utilizados para fortalecer o sistema imunológico e auxiliar no tratamento de infecções.

A empresa oferece mel puro, sem adição de açúcares ou conservantes, nas variedades nomeadas como mel convencional, premium e orgânico. Além disso, comercializa mel composto, que combina mel com ingredientes naturais, como própolis, abacaxi, gengibre e hortelã, potencializando seus benefícios terapêuticos.

A empresa desenvolve, ainda, produtos apícolas, recomendados para aliviar dores de garganta e sintomas de resfriados. Os sprays da Bee Própolis Brasil combinam mel, extrato de própolis e outros ingredientes naturais, como romã, gengibre, eucalipto, hortelã e malva. Esses sprays possuem propriedades antibacterianas, antioxidantes e anti-inflamatórias.

Há, também, uma linha voltada ao público infantil. A linha *Kids* oferece sprays e compostos apícolas com sabores agradáveis, como uva, tutti-frutti, morango e menta.

Formulados com ingredientes naturais, esses produtos auxiliam no alívio de sintomas respiratórios e no fortalecimento do sistema imunológico das crianças.

A Bee Própolis Brasil também fornece seus produtos em formato *In Bulk* (a granel), como mel e extratos de própolis, em grandes quantidades (baldes, bombonas e tambores). Essa opção é ideal para indústrias que desejam realizar o próprio envase e produção, oferecendo vantagens como preços mais baixos e maior flexibilidade no uso dos produtos.

4.2 Escolha do método de quantificação dos gases do efeito estufa

O GHG *Protocol* (*Greenhouse Gas Protocol*) foi escolhido como metodologia para a contabilização das emissões de gases de efeito estufa por ser o padrão mais amplamente utilizado e reconhecido internacionalmente. Desenvolvido por uma parceria entre o *World Resources Institute* (WRI) e o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD), o GHG *Protocol* fornece uma estrutura robusta, transparente e padronizada para a medição e gestão de emissões de GEE. A adoção desse protocolo garante a comparabilidade dos dados com outras organizações, além de estar alinhada com as melhores práticas globais de sustentabilidade corporativa. Ele também é compatível com outras iniciativas relevantes, como o CDP (*Carbon Disclosure Project*), os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e as exigências de relatórios ESG.

O GHG *Protocol* apresenta, ainda, uma divisão clara das emissões em escopos 1, 2 e 3, o que facilita a identificação das fontes diretas e indiretas de emissões, promovendo uma gestão mais eficaz e a definição de metas de redução com maior embasamento técnico.

Para calcular as emissões na geração de produtos e realizações de serviços de organizações, a metodologia do GHG *Protocol* utiliza uma combinação de fatores de emissão (dados específicos sobre o impacto ambiental de uma determinada atividade ou fonte de emissão) e dados operacionais (quantidades de consumo de energia, distâncias percorridas, entre outros).

Portanto, as fontes de análise da planilha baseada no GHG *Protocol* são essencialmente fatores de emissão, dados de consumo de recursos (como energia elétrica, combustíveis) e informações operacionais da empresa que permitem calcular a pegada de carbono associada às suas atividades. No que se refere ao inventário de emissões utilizando a metodologia GHG *Protocol* Brasil, destaca-se que é realizado anualmente, sempre com base no ano anterior ao relato.

Outra informação relevante diz respeito às emissões consideradas no relatório, que

abrangem o período de 1º de janeiro a 31 de dezembro, sendo que todos os dados coletados e analisados neste estudo referem-se ao ano de 2023.

4.3 Levantamento das fontes de emissão e estruturação do inventário de GEE

Para dar início ao processo de inventário, foi realizada uma visita inicial acompanhada pelo proprietário da empresa. Com base na análise realizada, foram identificadas e listadas as principais fontes de emissão de GEE em todos os setores da empresa, considerando o uso de equipamentos, processos produtivos, consumo energético e outras atividades operacionais. A partir dessas informações, foi elaborado um *checklist* para orientar a coleta de dados específicos, indicando os setores que precisariam fornecer informações detalhadas sobre os equipamentos utilizados ou atividades desenvolvidas que contribuem para a emissão de GEE.

Desse modo, conhecendo as fontes de emissões, estas foram classificadas dentro dos escopos 1,2 e 3, segundo a metodologia do *GHG Protocol* Brasil. Na sequência, foram solicitadas as evidências para contabilização das emissões, ou seja, contas de energia - para consumo de energia elétrica, o uso de combustíveis e outras atividades que possam resultar em emissões de gases de efeito estufa.

O Método de Cálculo foi utilizar metodologias de contabilização de GEE internacionalmente aceitas, o que pode envolver o uso de fatores de emissão específicos do setor e métodos de cálculo que variam de acordo com a disponibilidade de dados.

Diante do Relato e Transparência, as informações serão relatadas de maneira que respeitem os princípios de relevância, completude, consistência, transparência e exatidão. Também deve haver uma Revisão Contínua, e o inventário deve ser uma ferramenta dinâmica, revisitado e atualizado periodicamente para garantir que a organização se mantenha alinhada com as melhores práticas e regulamentos em evolução.

Para definir os limites organizacionais, realizou-se, inicialmente, uma reunião para compreender o processo produtivo da empresa, a percepção sobre a importância do inventário de GEE e as melhores estratégias para a coleta de dados.

Para a contabilização das emissões de GEE, foram observados todos os setores da empresa, analisando quais equipamentos são utilizados em cada um; os veículos que a empresa utiliza e suas funções; modalidade da energia que move a empresa; quais os tipos de ar-condicionado e extintores; os tipos de efluentes gerados e suas especificações; resíduos orgânicos e secos; transporte de produtos realizados por terceiros; viagens a negócios; e transporte de seus colaboradores.

A contabilização dos GEE da organização foi realizada por meio do preenchimento da planilha do GHG *Protocol* Brasil, disponível anualmente no site da FGV, seguindo-se uma metodologia estruturada que envolve o levantamento de dados sobre as fontes de emissões da organização.

As fontes emissoras e o cálculo das emissões de GEE foram classificadas em um dos escopos:

- Escopo 1: emissões diretas - as emissões de Escopo 1 são liberadas diretamente de fontes que pertencem ou são controladas por uma organização. Como exemplos, temos emissões produzidas a partir de processos de fabricação, emissões fugitivas, como emissões de metano da mineração de carvão, ou a produção de eletricidade no local pela queima de carvão.
- Escopo 2: missões indiretas - as emissões de Escopo 2 são liberadas da eletricidade, vapor, aquecimento e refrigeração adquiridos por uma organização.
- Escopo 3: muitas vezes chamadas de emissões da cadeia de suprimentos, as emissões de Escopo 3 são emissões indiretas de gases de efeito estufa que ocorrem como consequência das atividades de uma instalação, mas de fontes não pertencentes ou controladas pela empresa dessa instalação. Responsáveis por 5,5 vezes mais emissões, em média, do que as emissões diretas de uma empresa, as emissões de Escopo 3 representam uma oportunidade significativa para as organizações engajarem seus fornecedores para acelerar a descarbonização globalmente.

Após a classificação das emissões de gases de efeito estufa nos três escopos estabelecidos pelo GHG *Protocol* (Escopos 1, 2 e 3), foi realizado o preenchimento da planilha de inventário, com base nos dados coletados junto à empresa Bee Própolis Brasil. Em seguida, procedeu-se à conferência detalhada das informações inseridas, garantindo a consistência dos dados e a correta aplicação dos fatores de emissão. A etapa seguinte consistiu na análise dos resultados obtidos, permitindo identificar os principais pontos de emissão ao longo das atividades da empresa. Com base nesses dados, foi feita uma avaliação das fontes que apresentaram os maiores volumes de emissões, possibilitando uma abordagem direcionada para mitigação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Definição dos limites organizacionais

Na reunião inicial com o gestor, foi apresentada a estrutura organizacional e operacional da empresa, que se encontra dividida em dois setores principais: o setor primário, responsável pela produção e recepção da matéria-prima (mel e própolis), e o setor industrial, onde ocorre o processamento desses insumos, resultando em produtos derivados, como xaropes e compostos apícolas.

Durante a visita, o gestor enfatizou o compromisso contínuo da empresa com a qualidade e a sustentabilidade, destacando o rigoroso controle de qualidade aplicado em todas as etapas da produção. Além disso, ressaltou a valorização dos colaboradores, evidenciada pelo constante investimento em cursos de capacitação e aprimoramento profissional.

O gestor também mencionou o esforço da empresa em estabelecer parcerias com instituições de ensino, visando à promoção de pesquisas na área apícola. Tais parcerias incluem o incentivo a programas de mestrado, doutorado e estudos relacionados à genética das abelhas, fortalecendo, assim, o vínculo entre a produção apícola e o desenvolvimento científico.

Nesta reunião, foram detalhadas as operações das duas empresas distintas pertencentes ao mesmo grupo, sendo elas:

- Natucentro: esta empresa se dedica à produção da matéria-prima, ou seja, o cultivo das abelhas, extração do mel e produção de própolis no campo. É responsável pelo processo agrícola, envolvendo atividades de manejo de apiários, colheita do mel e da própolis, além do controle ambiental para garantir que o processo de produção da matéria-prima seja sustentável e eficiente;
- Bee Própolis: após a produção, a matéria-prima é encaminhada à Bee Própolis, que é responsável pela produção de compostos derivados das matérias-primas fornecidas pela Natucentro, como a produção de xarope, mel acabado e outros produtos que são destinados ao mercado interno e à exportação. Nessa etapa, o foco é transformar a matéria-prima em produtos embalados e prontos para o consumo.

Considerando que o inventário GHG *Protocol* Brasil estipula que deve ser realizado

um inventário por unidades diferentes, elaborou-se o inventário da Bee Própolis, devido ao fato de a unidade Natucentro envolver atividades com diferentes produtores de mel, dificultando o acesso às informações para um primeiro inventário de emissões.

5.2 Escopo de emissões

Antes da coleta de dados, foi realizado um estudo da planilha de cálculo disponibilizada pelo GHG *Protocol* Brasil, visando verificar a melhor forma para efetuar essa coleta. A ferramenta contém abas diferentes (categorias) para cada escopo, além de subabas dentro do mesmo escopo (Figura 1). A planilha é categorizada de acordo com os tipos de emissões, separando as móveis das estacionárias, e de atividades como processos industriais e atividades agrícolas. Ainda consta uma planilha para contabilização das emissões de consumo de energia, efluentes e resíduos gerados durante o processo produtivo.

Figura 1: Aba inicial da ferramenta GHG *Protocol* com suas subdivisões de acordo com cada fonte de emissão



Fonte: A autora,2025.

Esta planilha foi desenvolvida com base nas diretrizes do GHG *Protocol* (*Greenhouse Gas Protocol*), o principal padrão internacional para contabilização e gestão de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Ela tem como objetivo estimar as emissões de GEE, convertidas em CO₂ equivalente (CO₂e), a partir de diferentes fontes de emissão.

Na sequência, a análise da ferramenta de quantificação dos gases de efeito estufa. A planilha é dividida em seções que contêm:

- Campos de preenchimento pelo usuário: onde devem ser inseridos dados de atividades (ex.: consumo de combustível, energia, transporte, resíduos etc.).
- Campos automáticos: onde os cálculos são realizados automaticamente com base nos dados inseridos, utilizando fatores de emissão padronizados.

5.3 Funcionamento da Ferramenta

O processo ocorre em duas etapas principais: a primeira diz respeito à inserção dos dados de atividade (*input*): O usuário preenche manualmente informações como litros de combustível consumido (por tipo); quilometragem percorrida; consumo de energia elétrica (em kWh); quantidade de resíduos gerados (em kg ou toneladas); entre outros dados relevantes às operações da organização. A segunda se refere ao cálculo automático das emissões (*output*): A planilha aplica fatores de emissão específicos para cada tipo de atividade, convertendo os dados inseridos em emissões de CO₂equivalente. Esses fatores seguem as metodologias do GHG *Protocol*, podendo ser adaptados de fontes complementares, como: IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas); fatores de emissão nacionais (ex: MCTI - Brasil); bases setoriais e regulatórias.

Têm-se como exemplos práticos:

- Combustíveis: a emissão é calculada multiplicando-se a quantidade consumida (litros ou m³) pelo fator de emissão específico do combustível (ex.: gasolina, diesel, etanol);
- Energia elétrica: considera-se o consumo em kWh multiplicado pelo fator de emissão da matriz energética local (ex.: Brasil possui uma matriz majoritariamente renovável, com fator inferior ao de países com alta geração térmica);
- Resíduos: dependendo do tipo e da destinação (aterro, reciclagem, compostagem), as emissões são estimadas de forma diferenciada.

5.4 Coleta de dados

Inicialmente, efetuaram-se uma análise e acompanhamento da produção nos diferentes setores da empresa. Com base na análise realizada, foram identificadas e listadas as principais fontes de emissão de GEE em todos os setores, considerando o uso de equipamentos, processos produtivos, consumo energético e outras atividades operacionais. A partir dessas informações, foi elaborado um checklist para orientar a coleta de dados específicos, indicando os setores que precisariam fornecer informações detalhadas sobre os equipamentos utilizados ou atividades desenvolvidas que contribuem para a emissão de GEE.

Para contabilização das emissões de GEE, foram observados todos os setores da empresa, analisando quais equipamentos são utilizados em cada setor, os veículos que a empresa utiliza e suas funções, modalidade da energia que move a empresa, quais os tipos de ar-condicionado e extintores, os tipos de efluentes gerados e suas especificações, resíduos orgânicos

e secos, transporte de produtos realizados por terceiros, viagens a negócios e transporte de seus colaboradores.

Os equipamentos utilizados nos setores da Bee Própolis são relevantes para a análise das emissões, tanto diretas (gases provenientes de máquinas e veículos) quanto indiretas (energia elétrica consumida). Os principais setores e seus equipamentos são:

- Setor de Própolis: equipamentos como aquecedor de ar, ar-condicionado, câmaras frias, balanças, desumidificadores de ar, extintores, entre outros. São utilizados para o processamento da matéria-prima e podem ser fontes de emissões de CO₂ e outros gases, dependendo do tipo de energia utilizada e dos processos de refrigeração e aquecimento.
- Setor de Extrato de Própolis: equipamentos como balanças, bombas, centrífugas, tanques de agitação e armazenamento e exaustores. São empregados para a extração e o processamento da própolis, com impacto potencial nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) devido ao consumo de energia elétrica e à utilização de equipamentos que podem gerar resíduos ou emissões indiretas (e.g., sistemas de ventilação, bombas).
- Setor de Mel: inclui ar-condicionado, balanças, compressores de ar, envasadoras, túnel de calor, entre outros. O consumo de energia elétrica para operar esses dispositivos, especialmente os que envolvem aquecimento ou refrigeração, contribui para as emissões de CO₂.
- Setor de Manipulação do Mel: equipamentos como balanças, bombas de mel, estufas, tanques de decantação e outros, utilizados para a transformação do mel em produtos acabados, também contribuem para o consumo de energia e podem gerar emissões associadas ao transporte e processamento dos produtos.
- Setor de Líquidos Fracionados: equipamentos como ar-condicionado, compressores de ar, envasadoras, rotuladoras e túnel de aquecimento são usados neste setor. O emprego desses dispositivos que dependem de energia elétrica resulta em emissões de CO₂, especialmente quando alimentados por fontes não renováveis.

- Setor de Almoxarifado Produto Acabado: equipamentos como climatizadores e transpaletes manuais, utilizados para armazenar e movimentar produtos acabados. Esses dispositivos também têm um impacto sobre as emissões de GEE devido ao uso de energia elétrica ou combustíveis.

Foram solicitadas evidências para a contabilização das emissões, incluindo contas de energia elétrica, registros de consumo de combustíveis e demais informações relacionadas a atividades que possam gerar emissões de gases de efeito estufa.

Após a coleta de dados nos setores, eles foram organizados de acordo com as categorias da ferramenta utilizada. Dentro das categorias do Escopo 1, em combustão móvel, foram coletados dados sobre os veículos utilizados e controlados pela empresa. Os dados dos veículos da empresa adquiridos ou existentes em 2023 incluem informações detalhadas sobre o modelo, ano de fabricação e consumo de combustível. Os veículos constantes relatados pela empresa, no ano de 2023, foram: Caminhão Ducato: 4 litros por quilômetro, com uma média mensal de 2.500 km, e Mercedes Benz Atron: 11 litros por quilômetro, com uma média mensal de 1.000 km. Estas informações são utilizadas na ferramenta do GHG *Protocol* Brasil para cálculo das emissões de CO₂ geradas pelo transporte rodoviário da empresa, tanto para deslocamento de produtos quanto para o transporte de matérias-primas.

Estudos internacionais indicam que a maior parte das emissões da indústria automotiva está associada ao uso de seus produtos (Escopo 3), mas o Escopo 1 — especialmente o transporte — continua sendo expressivo em muitas empresas que não terceirizam totalmente sua logística (TRANSPORT & ENVIRONMENT, 2023).

A União Europeia (EU) impôs limites de emissão média de 95 g CO₂/km para automóveis desde 2021, e empresas que excedem esses valores enfrentam multas severas (EUROPEAN PARLIAMENT, 2019).

No Brasil, a produção e circulação de veículos contribuem para mais de 11% das emissões nacionais, com destaque para o diesel, no transporte de cargas. A falta de infraestrutura de transporte ferroviário e a dependência de combustíveis fósseis tornam o transporte rodoviário altamente emissor (ICCT BRASIL, 2023).

Estudos da FGV e da Unicamp sobre a pegada de carbono de automóveis destacam que é possível reduzir mais de 65% das emissões totais com a adoção de veículos elétricos, dependendo da matriz energética (FGV, 2023).

Para a categoria “emissões fugitivas”, ainda dentro do Escopo 1, foram observados os equipamentos ar-condicionado e extintores de incêndio. Os demais

equipamentos que emitem GEE não são utilizados pela empresa. Verificaram-se as especificações de cada um dos aparelhos e extintores, sendo que alguns destes últimos não emitem GEE e, portanto, não são contabilizados na ferramenta. Os equipamentos de ar-condicionado e extintores, assim como o tipo de gás utilizado e o ano, permitem calcular as emissões indiretas associadas ao uso de gases refrigerantes (como o HFC-134a e outros gases de efeito estufa) e ao consumo de energia para a refrigeração. Esses dados são importantes para entender as emissões indiretas geradas pelo uso desses equipamentos. Abaixo, na Tabela 1, a listagem de extintores e ares-condicionados.

Tabela 1- Quantidade de extintores de incêndio por setor

Setor	Ares- Condicionados	Extintores
1 – Própolis	3	7
2 - Extrato de Própolis	0	7
3 – Mel	2	4
4 - Manipulação do Mel	0	1
5 - Líquidos Fracionados	3	5
6-Almoxarifado (Produto Acabado)	0	2
Outros (sem setor definido)	1	3
Total Geral	9	29

Fonte: A autora, 2025.

Detalhes por tipo de extintor

Setor	P6 - CO2	P8 – ABC	P12 - BC	P50 – BC	Tota l
Própolis	1	6	0	0	7
Extrato de Própolis	0	1	4	2	7
Mel	0	3	1	0	4
Manipulação do Mel	0	1	0	0	1
Líquidos Fracionados	0	5	0	0	5
Almoxarifado	0	1	1	0	2
Outros	1	2	0	0	3
Total Geral	2	19	6	2	29

Fonte: A autora, 2025.

As emissões fugitivas oriundas de equipamentos de refrigeração e extinção de incêndio podem representar um impacto significativo nos inventários de gases de efeito estufa, especialmente quando são utilizados gases com alto potencial de aquecimento global, como o HFC-134a (UFABC, 2023).

Extintores de incêndio, embora essenciais para a segurança, possuem impacto ambiental, principalmente em seu ciclo de vida - desde a fabricação até o descarte. Tipos como os de CO₂ são mais sustentáveis, enquanto os de pó químico exigem atenção especial na destinação final. O uso e descarte inadequados, como a liberação de agentes no solo ou esgoto, podem causar sérios danos ambientais.

Empresas devem adotar práticas como o uso de extintores ecológicos, programas de descarte responsável e prevenção de incêndios, para minimizar a

necessidade de reposição e reduzir emissões indiretas, sobretudo, em setores com grande concentração de equipamentos (Tabela 2).

Tabela 2: Tipos de emissões de GEE da empresa e fonte das informações para o preenchimento da planilha

Categoria	Escopo	Descrição	Fonte de dados
Combustão móvel	1	Veículos automotores da empresa	Automóveis de controle da empresa
Emissões Fugitivas	1	Extintores de incêndio	Extintores de incêndio que emitem GEE presentes nos setores
Aquisição de Energia Elétrica	2	Energia elétrica	Cemig Energia adquirida no ano de 2023
Resíduos sólidos gerados	3	Resíduos da empresa	Quantidade de resíduos enviados ao aterro no ano de 2023
Viagens a negócios	3	Transporte de funcionários para atividades relacionadas aos negócios da organização	Controle da empresa sobre as viagens dos colaboradores
Transporte e distribuição (<i>downstream</i>)	3	Emissões de transporte e distribuição de produtos	Controle da empresa do envio de produtos

Fonte: A autora, 2025.

Dentro da categoria de efluentes, a empresa utiliza um sistema de aeração e biodigestor para o tratamento destes, mas a quantidade de efluente tratado não foi contabilizada em 2023. A informação de que o efluente é descarregado na rede pública de esgoto é relevante, pois pode impactar as emissões indiretas associadas ao tratamento de efluentes.

Estudos indicam que a recuperação e o uso do biogás gerado pela digestão anaeróbica podem reduzir em até 14,5 % as emissões de gases de efeito estufa (GEE) ao substituir combustíveis fósseis por energia renovável no próprio processo de tratamento (SANTOS *et al.*, 2013).

Algumas empresas conseguem reduzir as emissões de forma significativa ao adotar o uso de biodigestores. Por exemplo, uma empresa, no Brasil, implementou biodigestores em suas unidades e tratou cerca de 200 toneladas de resíduos orgânicos, evitando a emissão de 300 toneladas de CO₂eq, o que significa retirar cerca de 60 veículos leves das ruas por um ano (THYSSENKRUPP, 2025).

O Escopo 2 aborda somente o relato das emissões referentes ao consumo de energia elétrica. Todos os equipamentos dentro do processo produtivo da empresa utilizam a energia elétrica como fonte de energia. A partir da quantidade de energia elétrica utilizada pela empresa, é possível estimar as emissões de CO₂ associadas ao seu consumo de energia. Por isso, a informação coletada foi a quantidade de megawatts consumida pela empresa em 2023.

No contexto do consumo energético, no Brasil, observa-se que a indústria tem participação expressiva, tanto em termos absolutos quanto relativos. De acordo com o Relatório Resumido do Balanço Energético Brasileiro 2025, o setor industrial apresentou crescimento de 1,4% no consumo de energia em 2024, sendo que 64,4% desse montante foram provenientes de fontes renováveis, o que reforça a relevância da matriz majoritariamente limpa do país (EPE, 2025).

Apesar de ser um escopo de preenchimento não obrigatório, foram coletadas algumas informações das categorias de Escopo 3. A empresa não faz o tratamento dos resíduos sólidos e, por isso, esta informação foi contabilizada na categoria de resíduos sólidos, dentro do Escopo 3. Em 2023, a empresa gerou 3.339 kg de resíduos orgânicos, os quais podem ser fontes de emissões de metano se não forem adequadamente tratados (como no caso de aterros sanitários). Esta informação foi utilizada no preenchimento da planilha do inventário. Os resíduos secos, como papel e papelão, são enviados para a reciclagem, com a empresa Reciclo, ficando esta responsável pela coleta e destinação final.

A produção de bens utilizando materiais recicláveis diminui significativamente as emissões de gases de efeito estufa, já que o alumínio reciclado consome apenas cerca de 5 % da energia e gera 95 % menos emissões de CO₂ em comparação ao alumínio primário (INTERNATIONAL ALUMINIUM INSTITUTE, 2019; INTERNATIONAL ALUMINIUM INSTITUTE, 2022). Além disso, a reciclagem de papel consome entre 40 % e 64 % menos energia e reduz os impactos sobre recursos naturais, como madeira e água (LAURIJSEN *et al.*, 2010).

O transporte aéreo efetuado por empresas terceiras também deve ser contabilizado no Escopo 3. Para o transporte aéreo dos colaboradores, a empresa não tem controle sobre as aeronaves e, por isso, esta informação também foi contabilizada dentro do Escopo 3. A Bee Própolis utiliza aeronaves para transporte de parte dos seus produtos, realizado com partidas do Aeroporto Internacional de Confins e chegada em aeroportos no Japão (Narita e Fukuoka). O peso da carga transportada varia de 100 kg a 500 kg. Esses dados foram utilizados para calcular as emissões de GEE associadas ao transporte aéreo de produtos para exportação.

Além do transporte de produtos, aeronaves utilizadas para viagens de negócios de colaboradores, incluindo viagens aéreas de Belo Horizonte (Confins) a Santiago (Chile), também geram emissões. Esses dados foram utilizados para se calcular as emissões de CO₂ associadas ao transporte aéreo de colaboradores.

O transporte aéreo é uma das atividades que mais contribuem para as emissões globais de gases de efeito estufa, especialmente devido ao alto consumo de combustíveis fósseis derivados do querosene de aviação (*Jet Fuel*). As aeronaves são responsáveis por cerca de 2,5% a 3% das emissões globais de CO₂ geradas pela atividade humana (ICAO, 2021).

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), o transporte aéreo contribui não apenas com emissões diretas de CO₂, mas também com outros efeitos climáticos, como a formação de trilhas de condensação e óxidos de nitrogênio, que potencializam o impacto climático (IPCC, 2022).

No caso do transporte aéreo de cargas, a intensidade de emissão de CO₂ por tonelada-quilômetro é significativamente maior que no transporte rodoviário ou marítimo, o que torna o transporte aéreo o modo de transporte mais emissor por unidade de carga (SANTOS; FERREIRA, 2019). Isso é agravado por voos longos, como os realizados pela Bee Própolis entre o Brasil e o Japão, com cargas entre 100 e 500 kg partindo do Aeroporto Internacional de Confins (CNF) para aeroportos no Japão, como Narita e Fukuoka.

Embora não tenha sido especificado o transporte utilizado pelos colaboradores, dados sobre a distância percorrida, tipo de transporte (carro, carona, motocicleta, ônibus etc.) e modelos dos veículos utilizados poderiam ajudar no cálculo das emissões associadas aos deslocamentos diários dos funcionários.

O relato das emissões foi limitado pelas informações que a empresa possuía e que foram disponibilizadas ao estudo. Geralmente, para o primeiro inventário, o relato é incompleto, devido à dificuldade de registro de algumas informações do processo produtivo, especialmente aquelas do Escopo 3, que incluem dados disponibilizados por prestadores de serviços e de empresas terceiras.

5.5 Método de cálculo

Os dados coletados incluíram informações apuradas no momento da visita e outras enviadas posteriormente pela empresa, as quais foram utilizadas para preenchimento da planilha de cálculo, efetuado conforme os dados coletados. Cada linha da planilha corresponde a uma fonte de emissão e exige que sejam fornecidos os seguintes dados:

- Categoria de Emissão: indicação do tipo de atividade que gerou as emissões (ex.: consumo de eletricidade, uso de combustíveis, transporte de produtos etc.).
- Quantidade de Atividade: dados quantitativos, como o consumo de combustível (em litros), o consumo de eletricidade (em kWh), a distância percorrida pelos veículos, ou a quantidade de resíduos gerados.
- Fator de Emissão: um valor que converte a quantidade de atividade em emissões de CO₂equivalente. Por exemplo, 1 litro de gasolina pode ter um fator de emissão de 2,31 kg CO₂e.

A ferramenta calcula as emissões de CO₂ equivalente multiplicando os dados inseridos pelo usuário, como consumo de combustível ou energia, por fatores de emissão predefinidos baseados em referências reconhecidas, como o *GHG Protocol*. Esses fatores indicam a quantidade média de gases de efeito estufa emitidos por unidade de atividade. As emissões de diferentes gases são convertidas para CO₂equivalente usando-se os Potenciais de Aquecimento Global (GWP), permitindo uma estimativa precisa e consolidada das emissões totais por setor ou atividade. Vale destacar que as emissões calculadas são o resultado do cálculo das emissões, que é obtido multiplicando-se a quantidade de atividade pelo fator de emissão correspondente.

Após o preenchimento, a planilha gera as emissões totais para cada escopo (1, 2 e 3), e, somando essas emissões, obtém-se o total de CO₂equivalente (CO₂e) emitido pela empresa (Figura 2). A planilha também foi revisada para garantir que todos os dados estivessem corretos e completos, com os fatores de emissão apropriados.

Figura 2: Tabela com o resumo das emissões totais contabilizadas - Escopos 1, 2 e 3 - relatadas na ferramenta GHG Protocol Brasil

2.1 Resumo das emissões totais:		Ano do inventário: 2023						
GEE	Em toneladas de gás				Em toneladas métricas de CO ₂ equivalente (tCO ₂ e)			
	Escopo 1	Escopo 2 - Abordagem localização	Escopo 2 - Abordagem escolha de compra	Escopo 3	Escopo 1	Escopo 2 - Abordagem localização	Escopo 2 - Abordagem escolha de compra	Escopo 3
CO ₂	580,521000	3.376,043	-	5.840,986	580,521	3.376,043	-	5.840,986
CH ₄	0,033000	-	-	0,366	0,924	-	-	10,248
N ₂ O	1,045000	-	-	0,186	276,925	-	-	49,290
HFC	0,010900			-	36,515			-
PFC	-			-	-			-
SF ₆	-			-	-			-
NF ₃	-			-	-			-
Total					894,885	3.376,043	-	5.900,524

Fonte: A autora, 2025.

Após a coleta dos dados, os dados analisados das emissões totais em toneladas de gás e em toneladas métricas de CO₂ equivalente (tCO₂e). Os principais gases foram: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarboneto (HFC), PFC, hexafluoreto de enxofre (SF₆) e Trifluoreto de nitrogênio (NF₃). No escopo 1, a quantidade de CO₂ foi de 580,521000 toneladas de gás; CH₄ totalizou 0,033000 toneladas de gás; N₂O 1,045000 toneladas de gás; HFC 0.01900 toneladas de gás. Os gases PFC, SF₆ e NF₃ não obtiveram resultados. Na emissão total do escopo 1 foi de 894,885 tCO₂e (Figura 2).

Tabela 3: Categorias de emissão

Categoria	Emissões tCo2	Escopo
Combustão móvel	593,370	1
Fugitivas	301,515	1
Aquisição de energia elétrica	3.376,043	2
Resíduos gerados nas operações	9,744	3
Transporte e distribuição (<i>downstream</i>)	5.890,420	3
Viagens a negócios	0,360	3

Fonte: A autora, 2025.

Os resultados mostram que, no Escopo 1, as emissões são dominadas pelo dióxido de carbono (CO_2), que totalizou 580,521 toneladas de gás, refletindo a sua principal origem nas atividades diretas da empresa, como a queima de combustíveis fósseis em veículos e processos industriais. O CO_2 é o gás mais emitido porque é o principal produto da combustão e das atividades industriais comuns, sendo o mais abundante entre os gases de efeito estufa gerados diretamente.

O segundo gás mais emitido foi o óxido nitroso (N_2O), com 1,045 toneladas. Embora sua quantidade em toneladas seja bem menor que a do CO_2 , o N_2O possui um potencial de aquecimento global (GWP) muito maior, o que contribui significativamente para a pegada total em CO_2 equivalente. O N_2O , normalmente, é gerado em processos agrícolas, industriais e em combustão incompleta, explicando sua presença significativa, mesmo em menor volume.

Já o metano (CH_4) aparece com emissões muito pequenas (0,033 toneladas), provavelmente porque as fontes diretas de metano (como digestão anaeróbia, vazamentos de gás natural ou decomposição de resíduos orgânicos) são menos relevantes nas operações diretas da empresa analisada.

Os hidrofluorcarbonetos (HFCs) também apresentaram emissões baixas (0,019 toneladas), possivelmente relacionadas a vazamentos ou uso de sistemas de refrigeração, que são normalmente controlados e de baixa incidência nas operações diretas.

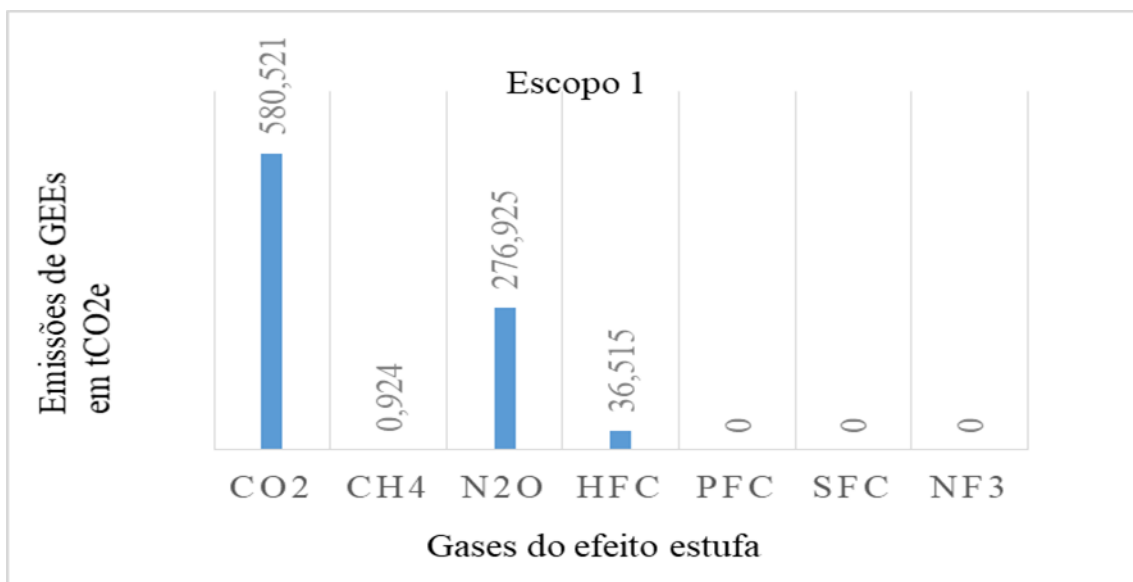
Os gases PFC, SF_6 e NF_3 não apresentaram emissões detectadas, o que pode ser explicado por sua aplicação mais restrita e especializada (como em processos eletrônicos, uso industrial muito específico ou equipamentos que não estão presentes na empresa), além do fato de serem gases raros e controlados com maior rigor devido ao seu alto potencial de aquecimento global (SHELDON; CRIMMIN, 2022).

Portanto, a predominância do CO_2 nas emissões do Escopo 1 (Figura 3) é consistente com a natureza das atividades industriais e de transporte da empresa, enquanto a presença do N_2O como segundo maior emissor destaca processos que liberam gases com alto potencial de aquecimento global, ainda que em menor volume. A ausência ou baixa emissão de outros gases indica que a empresa não opera atividades que gerem esses gases, ou que tais emissões estejam bem controladas ou abaixo do limite de detecção.

Na sequência, expõe-se a porcentagem de gases do efeito estufa emitidos (GEE) pelas atividades da empresa Bee Própolis dentro do Escopo 1 no ano de 2023,

ressaltando-se que, no eixo y do gráfico, estão os valores das emissões de gases do efeito estufa em tCO₂e, e, no eixo x, os gases do efeito estufa.

Figura 3: Porcentagem de gases do efeito estufa emitidos (GEE) pelas atividades da empresa Bee Própolis dentro do Escopo 1 em 2023.



Fonte: A autora, 2025.

No Escopo 2, ocorrem somente emissões de CO₂, contabilizadas pela abordagem de localização, em um total de 3.376,043 toneladas métricas de CO₂ equivalente (tCO₂e). Esses valores foram obtidos por meio dos dados de entrada de produção de energia por Kw/h.

A geração de energia elétrica em muitos sistemas ainda depende majoritariamente da queima de combustíveis fósseis, cuja emissão principal é o CO₂, justificando a ausência ou insignificância dos demais gases no inventário do Escopo 2.

Portanto, a predominância do CO₂ nas emissões do Escopo 2 é consequência da metodologia adotada e da composição da matriz energética regional, refletindo o impacto ambiental da eletricidade consumida pela empresa.

A concessionária de energia é a Cemig, que transmite a energia gerada em suas usinas e a energia comprada de Itaipu, do Sistema Interligado e de outras fontes. A Cemig Distribuição S.A. (ou Cemig D) é um dos maiores distribuidores de energia elétrica do Brasil em extensão de rede, atendendo aproximadamente 96% do estado de Minas Gerais (CEMIG,2025). Ainda no Escopo 2, em relação à abordagem da escolha de compra, não foram contabilizados valores para emissões dos gases, uma vez que a empresa não realiza a compra de energia de outras fontes renováveis.

A indústria de geração de eletricidade é responsável por aproximadamente 43% das emissões globais de CO₂. É a maior contribuinte de emissões de gases de efeito estufa, com o setor de transportes logo em seguida. Os combustíveis fósseis ainda fornecem 61% da eletricidade mundial, com o carvão sendo a maior fonte individual de geração de energia elétrica e o maior emissor isolado na economia global. No entanto, o Brasil apresenta um cenário distinto. Em 2023, o país gerou 91% de sua eletricidade a partir de fontes limpas, com a energia hidrelétrica representando 60% e as energias eólica e solar somando 21%. Apenas 9% da eletricidade brasileira foram provenientes de combustíveis (ONS, 2023; EPE, 2023).

O Brasil, portanto, não é o país que contribui de maneira significativa para as emissões de GEE para geração de energia elétrica, pois, sendo a principal fonte de energia do país as hidrelétricas, as emissões são baixas. As hidrelétricas causam grandes impactos ambientais, mas são consideradas limpas na geração de GEE.

A empresa Bee Própolis utiliza como única fonte de energia elétrica aquela proveniente de concessionárias, que possuem baixa contribuição para o aquecimento global. No entanto, é um cenário que pode ser melhorado, uma vez que fontes mais limpas de energia estão disponíveis, como energia eólica e fotovoltaica.

Algumas indústrias já utilizam energia fotovoltaica, por meio da montagem de usinas próprias. Uma segunda alternativa seria a compra de energia de empresas que produzem e distribuem energia limpa.

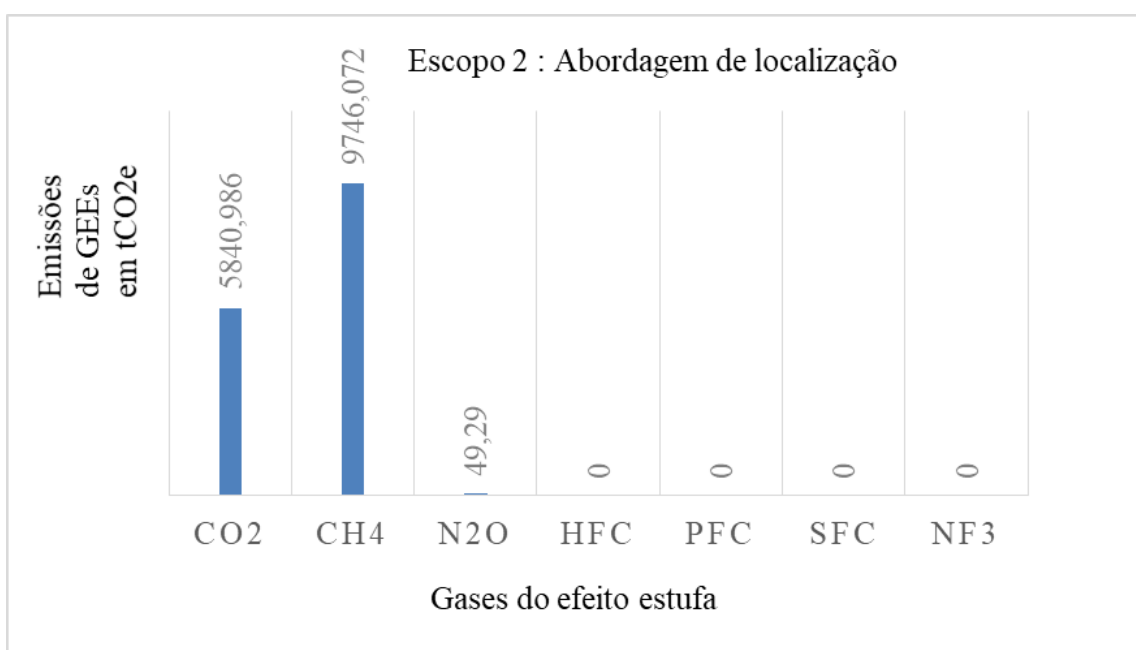
O Brasil, por possuir um sistema energético fortemente baseado em hidrelétricas, apresenta emissões de gases de efeito estufa (GEE) relativamente baixas na geração de eletricidade, especialmente se comparado a países que dependem mais de combustíveis fósseis (IBGE, 2020). Apesar dos impactos ambientais associados à construção de barragens e ao deslocamento de comunidades, a geração hidrelétrica é considerada uma fonte limpa em termos de emissões de CO₂, pois não envolve a queima direta de combustíveis (SILVA *et al.*, 2018).

Entretanto, estudos recentes mostram que a energia fotovoltaica (solar) possui um perfil ainda mais favorável em relação às emissões ao longo de seu ciclo de vida. A análise do ciclo de vida (ACV) da energia solar fotovoltaica revela emissões médias entre 20 e 60 gCO₂eq/kWh, enquanto as hidrelétricas podem variar entre 1 e 30 gCO₂eq/kWh, dependendo do tipo e tamanho do projeto (FERREIRA; OLIVEIRA, 2021; DELLA VALLE *et al.*, 2020).

Além disso, a energia fotovoltaica apresenta menor impacto em ecossistemas e ausência de emissões durante a operação, sendo considerada uma fonte sustentável e estratégica para diversificação da matriz energética (IPCC, 2022).

Empresas brasileiras, como a Bee Própolis, que atualmente dependem de concessionárias com matriz majoritariamente limpa, podem se beneficiar da adoção direta ou indireta (via compra) de energia solar fotovoltaica, reduzindo ainda mais a pegada de carbono e contribuindo para a transição energética sustentável (EPE, 2023).

Figura 4: Porcentagem de gases do efeito estufa emitidos pelas atividades da empresa Bee Própolis dentro do Escopo 2 no ano de 2023



Fonte: A autora, 2025.

No Escopo 2, abordagem de localização (Figura 4), as emissões são calculadas com base no fator de emissão médio das redes elétricas da região onde a energia é consumida. Essa abordagem considera apenas a intensidade média de emissões geradas para produzir a eletricidade distribuída em uma área geográfica específica. Nos inventários de emissões de gases de efeito estufa (GEE), especificamente no Escopo 2, que trata das emissões indiretas associadas à aquisição de energia elétrica consumida, é comum que se reportem somente as emissões de CO₂, devido a algumas razões práticas e metodológicas.

No cenário mundial, as emissões de GEE associadas à geração de eletricidade vêm da queima de combustíveis fósseis, como carvão, gás natural e óleo, que emitem

predominantemente dióxido de carbono (CO₂). Outros gases de efeito estufa, como metano (CH₄) e óxido de nitrogênio (NO_x), também podem ser emitidos, mas o CO₂, geralmente, é o principal contribuinte, devido à sua prevalência e ao volume de emissões. A fonte de energia elétrica proveniente de hidrelétricas, apesar de causar grandes impactos ambientais negativos, é uma forma de baixa emissão de GEE.

Para facilitar a comparação e a padronização dos dados, muitos inventários de emissões de GEE, no Escopo 2, optam por concentrar-se no CO₂, que é o gás mais representativo no setor de energia elétrica. Além disso, os cálculos de emissões de CO₂ podem ser feitos com base em fatores de emissão amplamente utilizados e fornecidos por fontes como a IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) e entidades de regulação.

Hidrelétricas geram emissões significativas de metano (CH₄), pois, nos reservatórios, há grande acúmulo de matéria orgânica (plantas, folhas, sedimentos) que fica submersa. Esse material sofre decomposição em condições anaeróbias (sem oxigênio) - processo que libera metano, um gás de efeito estufa muito mais potente que o CO₂ em termos de aquecimento global (seu GWP em 20 anos é cerca de 84 a 87 vezes maior).

No Escopo 3, a totalização das emissões por gases foram: CO₂ resultou em 5.840,986 toneladas de gás; CH₄, 0,366; e N₂O, 0,186 toneladas de gás. Os gases HFC, PFC, SF₆ e NF₃ não obtiveram resultados. A quantidade total de emissão foi de 5.900,524 tCO₂e (Figura 5).

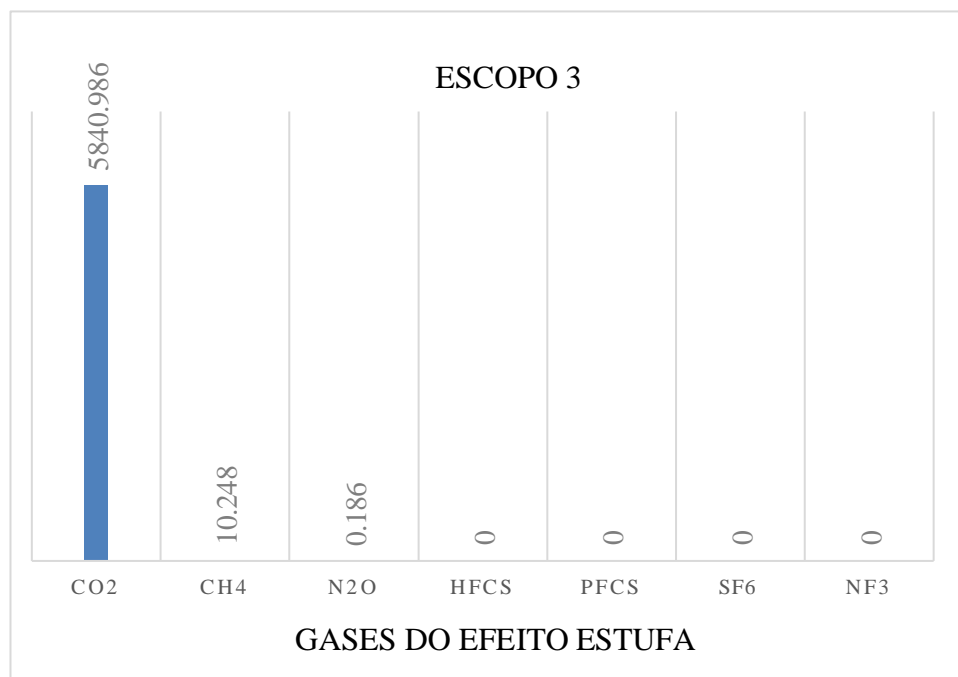
Responsáveis por 5,5 vezes mais emissões, em média, do que as emissões diretas de uma empresa, as de Escopo 3 representam uma oportunidade significativa para as organizações engajarem seus fornecedores para acelerar a descarbonização globalmente.

As emissões do Escopo 3 (Figura 5) totalizaram 5.900,524 toneladas de CO₂ equivalente (tCO₂e), com destaque para os resíduos gerados nas operações (9,744 tCO₂e) e no transporte e distribuição (*downstream*) (5.890,420 tCO₂e), que, juntos, representam quase a totalidade das emissões indiretas da cadeia de valor. A maior parte das emissões por tipo de gás foi ocasionada por dióxido de carbono (CO₂), com 5.840,986 toneladas, resultado esperado, já que o CO₂ é emitido em quase todas as etapas logísticas e no tratamento de resíduos. No entanto, chama a atenção a presença de 10,248 toneladas de metano (CH₄), gás com alto potencial de aquecimento global (GWP), provavelmente associado à decomposição de resíduos orgânicos em aterros sanitários.

O óxido nitroso (N₂O) também aparece, com 0,186 toneladas, normalmente ligado a processos de combustão ou decomposição de matéria orgânica. Gases como HFCs, PFCs, SF₆ e NF₃ não apresentaram resultados, o que é coerente, já que são utilizados principalmente em processos industriais específicos (como refrigeração ou eletrônicos), que não fazem parte da

cadeia operacional da empresa. Esses dados reforçam que a gestão adequada de resíduos e a logística de transporte são os principais pontos críticos a serem abordados para reduzir as emissões indiretas da organização.

Figura 5: Porcentagem de gases do efeito estufa emitidos pelas atividades da empresa Bee Própolis dentro do Escopo 3 no ano de 2023.



Fonte: A autora, 2025

A obtenção de dados do Escopo 3 ainda é um dos principais entraves para a completude do inventário. Na Bee Própolis, a dificuldade foi particularmente devido à falta de acesso a informações fornecidas por terceiros e pela limitação no monitoramento de atividades que não estão sob controle direto da organização. A ausência de uma sistemática de coleta estruturada junto aos fornecedores e colaboradores prejudicou a inclusão de importantes fontes de emissão.

Duas fontes relevantes de emissão não puderam ser incluídas neste ciclo do inventário por falta de dados. Não foi possível contabilizar as emissões associadas ao tratamento de esgoto (categoria de efluentes), uma vez que o esgoto gerado é armazenado na caixa da fatora, e sua parte líquida é direcionada para a rede pública de esgoto do município. A falta de detalhamento sobre o destino final do resíduo sólido impossibilitou a quantificação das emissões, e não foram contabilizadas as emissões relacionadas ao deslocamento dos colaboradores até a unidade da Bee Própolis. Apesar das tentativas, não houve retorno suficiente dos funcionários quanto aos meios de transporte utilizados, impedindo o cálculo das emissões dessa categoria.

Para aumentar a precisão e abrangência do inventário nas próximas edições, recomenda-se implementar um sistema de coleta de dados estruturado com fornecedores e colaboradores, incluindo questionários periódicos ou ferramentas digitais de monitoramento; criar protocolos de registro de resíduos e transportes, mesmo quando esses processos são terceirizados ou compartilhados com o município; e estabelecer parcerias com fornecedores estratégicos para garantir a transparência dos dados de *upstream* e *downstream* da cadeia de valor.

Além da melhoria no processo de inventário, é fundamental propor ações para a mitigação das emissões, como promover campanhas de carona solidária ou incentivos ao uso de transportes menos emissores, como bicicletas ou transporte coletivo; investir em educação ambiental interna, incentivando a coleta seletiva e o correto descarte de resíduos; buscar fornecedores com políticas sustentáveis e inventários de GEE já estruturados, que permitam uma integração mais eficiente dos dados (Tabela 4).

A empresa apresenta diversas características e práticas que contribuem significativamente para a redução das emissões de GEE, demonstrando compromisso com a sustentabilidade e com a mitigação dos impactos ambientais de suas atividades. Um dos principais aspectos positivos é a utilização predominante de equipamentos com fonte de energia elétrica, o que reduz a dependência de combustíveis fósseis nas operações internas e minimiza as emissões diretas (Escopo 1), especialmente se essa energia for oriunda de fontes com menor intensidade de carbono.

A empresa realiza, também, a coleta de material reciclado, evitando, assim, o envio de resíduos para aterros ou incineração - práticas que geram emissões significativas de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂). A reciclagem também reduz a necessidade de extração de matérias-primas e de novos processos industriais, que são intensivos em energia e emissão de GEE. Essa prática impacta positivamente o Escopo 3, ligado à cadeia de valor.

Outro diferencial importante é o uso de um biodigestor, que trata resíduos orgânicos transformando-os em biogás e biofertilizante. Esse processo não só evita emissões de metano que seria liberado pela decomposição tradicional, mas também substitui o uso de combustíveis fósseis e fertilizantes químicos, contribuindo para a economia circular e para a redução das emissões nos Escopos 1 e 3. No caso da empresa, no momento da coleta dos dados, o biodigestor ainda estava em implementação.

Por fim, o interesse da empresa em implantar um sistema de energia fotovoltaica representa um passo estratégico e sustentável para reduzir drasticamente as emissões do Escopo 2, ligadas ao consumo de energia elétrica da rede. A energia solar é uma fonte limpa e renovável, com zero emissões durante a operação, e pode propiciar economia financeira e ganhos reputacionais a longo prazo.

Tabela 4: Sugestões de estratégias para redução das emissões de GEE da empresa Bee Própolis

Ordenação por emissões na organização	Categoria	Escopo	Fonte	GEE	Sugestões para redução das emissões
1	Viagens a negócios	3	Transporte de funcionários (aéreo, terrestre)	CO ₂	Promover campanhas de carona solidária ou incentivos ao uso de transportes menos emissores (bicicletas, transporte coletivo).
2	Resíduos gerados nas operações	3	Resíduos enviados a aterros sanitários	CO ₂ ; CH ₄	Implementação de educação ambiental interna e coleta seletiva para aumentar o volume de material reciclado; Melhoria na gestão de resíduos para evitar envio a aterros/incineração.
3	Fugitivas	1	Vazamento de fluidos refrigerantes em equipamentos (ex.: ar-condicionado ou extintores)	HFCs (gases fluorados)	Revisão dos sistemas de refrigeração utilizados na armazenagem; Uso de extintores ecológicos; Programas de descarte responsável.
4	Combustão móvel	1	Veículos automotores da empresa	CO ₂	Substituição gradual de fontes energéticas fósseis por alternativas renováveis; Uso de veículos mais eficientes ou elétricos.
5	Aquisição de energia elétrica	2	Consumo de eletricidade da rede	CO ₂	Adoção de fontes de energia renovável (ex.: solar fotovoltaica) ou compra de energia limpa (via mercado livre ou certificados); Modernização de

					equipamentos para maior eficiência energética.
6	Transporte e distribuição (<i>downstream</i>)	3	Transporte de produtos acabados para clientes	CO ₂	Otimização logística (rotas mais eficientes); Priorizar transportadoras com frotas menos emissoras ou que utilizem combustíveis alternativos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo principal quantificar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) geradas durante o processo de produção industrial de própolis e mel, bem como identificar os setores responsáveis pelas maiores emissões e propor estratégias para mitigá-las. Por meio da análise dos processos produtivos ao longo do ano de 2023, foi possível alcançar a maior parte dos objetivos estabelecidos, fornecendo uma visão abrangente sobre o perfil de emissões da empresa.

A identificação e classificação das fontes de emissão permitiram mapear os principais setores emissores, destacando especialmente os setores de aquisição de energia elétrica, resíduos sólidos gerados, emissões fugitivas, viagens a negócio, transporte e distribuição de mercadorias, destacando-se os maiores contribuintes para as emissões da organização. A mensuração das emissões, realizada com base em metodologias reconhecidas internacionalmente, demonstrou que a empresa emitiu aproximadamente 894,88 toneladas de gases poluentes no Escopo 1; 3.376,04, no Escopo 2; e 5.900,52, no Escopo 3, no período analisado.

Também foi possível classificar e hierarquizar as fontes de maior impacto, o que contribuiu significativamente para a elaboração de planos de ação mais eficazes e direcionados. Contudo, algumas fontes potenciais de emissão não puderam ser plenamente quantificadas devido à indisponibilidade de dados internos, como combustão estacionária, resíduos sólidos e efluentes líquidos, transporte e distribuição de mercadorias e emissões casa-trabalho, ou seja, o meio de locomoção dos funcionários.

No presente trabalho, algumas categorias previstas no *GHG Protocol* não foram consideradas nos cálculos de emissões por falta de informações detalhadas fornecidas pela empresa Bee Própolis Brasil. No caso do transporte *upstream*, isto é, o transporte de matérias-primas utilizadas no processo produtivo, como embalagens e insumos para produção de mel e própolis, não foi possível contabilizar as emissões, pois não foram fornecidos dados sobre o tipo de transporte utilizado, rotas, fornecedores ou combustível empregado. Em relação aos resíduos sólidos, a empresa informou que realiza o envio para coleta municipal convencional, mas não possui informações sobre a destinação final desses resíduos. Por fim, não foi possível contabilizar as emissões relacionadas ao deslocamento casa-trabalho dos funcionários, pois não houve coleta de

dados sobre os meios de transporte utilizados, distâncias percorridas ou frequência dos deslocamentos.

Apesar dessas limitações, o estudo apresentou estratégias viáveis para redução das emissões, entre elas: substituição gradual de fontes energéticas fósseis por alternativas renováveis, otimização logística para transporte de insumos, revisão dos sistemas de refrigeração utilizados na armazenagem da própolis e melhorias na gestão de resíduos. Tais medidas, além de reduzirem o impacto ambiental da empresa, podem promover ganhos operacionais e reforçar seu compromisso com práticas sustentáveis.

Este trabalho reforça a importância da quantificação e gestão das emissões de GEE em setores da agroindústria, muitas vezes negligenciados nos inventários corporativos. Espera-se que os resultados obtidos aqui sirvam como base para decisões mais sustentáveis, tanto no contexto interno da empresa quanto no modelo replicável para empreendimentos semelhantes no setor de produtos apícolas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA).** *Efeito estufa e aquecimento global*. Brasília, 2025. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/informma/item/195-efeito-estufa-e-aquecimento-global.html>. Acesso em: 19 abri. 2025.
- CARBON FREE BRASIL.** Inventário de Gases de Efeito Estufa: Por que sua empresa deve fazer? 1 abr. 2024. Disponível em: <https://carbonfreebrasil.com/blog/inventario-de-gases-de-efeito-estufa-porque-sua-empresa-deve-fazer/>. Acesso em: 15 jul. 2025.
- CARVALHO, José. et al. Mudanças climáticas e aquecimento global: implicações na gestão estratégica de empresas do setor siderúrgico de Minas Gerais. *SciELO*, 2011. Disponível em: Mudanças climáticas e aquecimento global: implicações na gestão estratégica de empresas do setor siderúrgico de Minas Gerais). Acesso em: 13 nov.2024.
- DELLA VALLE, N. et al. Environmental life cycle assessment of hydroelectric and photovoltaic electricity generation in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 120, p. 109635, 2020. DOI: 10.1016/j.rser.2019.109635.
- EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Balanco Energético Nacional 2023**. Rio de Janeiro: EPE, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>. Acesso em: 25 ago. 2025.
- EUROPEAN PARLIAMENT; COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION.** Regulation (EU) 2019/631 of 17 April 2019 setting CO₂ emission performance standards for new passenger cars and for new light commercial vehicles. *Official Journal of the European Union*, L 111, p. 13-53, 25 abr. 2019. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ.L_.2019.111.01.0013.01.ENG. Acesso em: 25 ago. 2025.
- FERREIRA, M. R.; OLIVEIRA, J. R. Análise do ciclo de vida da energia solar fotovoltaica e hidrelétrica: comparação e perspectivas no Brasil. *Revista Brasileira de Energia*, v. 27, n. 2, p. 53-68, 2021. Disponível em: <https://www.revistas.ufrj.br/index.php/rbe>. Acesso em: 25 ago. 2025.
- FGV. Fundação Getulio Vargas. **Pegada de carbono na produção de automóveis no Brasil**. São Paulo: FGVces, 2023. Disponível em: <https://eaesp.fgv.br>. Acesso em: 25 ago. 2025.
- FGV EAESP – ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO DE EMPRESAS DE SÃO PAULO DA FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS.** Programa Brasileiro GHG Protocol. 2025. Disponível em: <https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol>. Acesso em: 07 mai. 2025.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM).** Inventário de emissões de gases de efeito estufa do Estado de Minas. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), 2008.

GARCIA, Edenise. *O círculo vicioso da destruição e vulnerabilidade climática*. The Nature Conservancy Brasil, 9 mar. 2023. Disponível em:

<https://www.tnc.org.br/conecte-se/comunicacao/artigos-e-estudos/circulo-vicioso-destruicao-climatica/>. Acesso em: 12 fev. 2025.

GATREL, A. C. *Geographies of health: an introduction*. Oxford: Blackwell Publishers Ltd., 2002.

GHG Protocol. **Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard**. Washington, D.C.: World Resources Institute, 2019. Disponível em: <https://ghgprotocol.org/standards/scope-3-standard>. Acesso em: 25 ago. 2025.

IBF – INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS. *Aquecimento global*. 2025. Disponível em: <https://www.ibflorestas.org.br/aquecimento-global>. Acesso em: 12 fev. 2025.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). *Matriz energética brasileira e emissão de gases de efeito estufa*. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 25 ago. 2025.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua 2020 – Transportes e Emissões**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 25 ago. 2025.

IBM. *O que é Contabilidade de Carbono?* 2025. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/carbon-accounting>. Acesso em: 02 jul. 2025.

ICAO (International Civil Aviation Organization). **Environmental Report 2021 – Aviation and Climate Change**. Montreal: ICAO, 2021. Disponível em: <https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO-Environmental-Report-2021.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2025.

ICCT BRASIL. **Veículos elétricos apresentam uma redução de mais de 65% nas emissões de carbono**. 2023. Disponível em: <https://exame.com/esg/veiculos-eletricos-apresentam-uma-reducao-de-mais-de-65-nas-emissoes-de-carbono-afirma-pesquisa>. Acesso em: 25 ago. 2025.

INTERNATIONAL ALUMINIUM INSTITUTE. **Aluminium recycling saves 95% of the energy needed for primary aluminium production**. Londres, 2019. Disponível em: <https://international-aluminium.org/landing/aluminium-recycling-saves-95-of-the-energy-needed-for-primary-aluminium-production/>. Acesso em: 2 dez. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Electricity Information 2023**. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/electricity-information-2023>. Acesso em: 25 ago. 2025.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report**. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

MENDONÇA, F. *Aquecimento global e saúde: uma perspectiva geográfica – notas introdutórias*. **Terra Livre**, [S. l.], v. 1, n. 20, p. 205–221, 2015. DOI: 10.62516/terra_livre.2003.184. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/terralivre/article/view/184>. Acesso em: 19 nov. 2024.

MICHAELIDES, Efstathios E. Decarbonization of the electricity generation sector and its effects on sustainability goals. *Sustainable Energy Research*, [S.l.], v. 10, art. 10, 2023. Disponível em:

<https://sustainenergyres.springeropen.com/articles/10.1186/s40807-023-00080-1>.

Acesso em: 23 set. 2025.

MYHRE, Gunnar et al. Forçamento radiativo antropogênico e natural. In: STOCKER, T. F. et al. (Orgs.). *Mudanças Climáticas 2013: a base científica física*. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel

Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. p. 659–740.

NIEUWOLT, Simon; MCGREGOR, Glenn R. *Tropical climatology: an introduction to the climates of the low latitudes*. 2. ed. Oxford: J. Wiley, 1998.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). **Relatório de Operação 2023**. Rio de Janeiro: ONS, 2023. Disponível em: <https://www.ons.org.br>. Acesso em: 25 ago. 2025.

OPTEL. Contabilidade de Carbono: Tendências e Estratégias Para se Preparar Para a Conformidade Regulatória. 2023. Disponível em: <https://www.optelgroup.com/pt-br/blog/contabilidade-de-carbono-tendencias-e-estrategias-para-se-preparar-para-a-conformidade-regulatoria/>. Acesso em: 23 jul. 2025.

SANTOS, A. L.; FERREIRA, R. M. Análise das emissões de gases de efeito estufa no transporte aéreo de carga. *Revista Brasileira de Engenharia Ambiental*, v. 24, n. 2, p. 110–121, 2019. DOI: 10.1590/1807-1929/2019/v24n2p110.

SÃO PAULO. Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística (SEMIL). *Efeito estufa*. 24 mar. 2023. Disponível em:

<https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/efeito-estufa/>. Acesso em: 01 mar. 2025.

SEEG – SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. *Plataforma de dados*. 2025. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/>. Acesso em: 11 abr. 2025.

SETCEMG – SINDICATO DAS EMPRESAS DE TRANSPORTE DE CARGAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Inventário de Gases de Efeito Estufa: como as empresas podem se beneficiar? 23 set. 2022. Disponível em: <https://setcemg.org.br/inventario-de-gases-de-efeito-estufa-como-as-empresas-podem-se-beneficiar/>. Acesso em: 28 abr. 2025.

SILVA, L. A. et al. Avaliação ambiental das usinas hidrelétricas: emissões e impactos no ciclo de vida. *Revista Ambiente & Água*, v. 13, n. 1, p. 1-12, 2018. DOI: 10.4136/ambi-agua.2027.

THYSSENKRUPP. thyssenkrupp amplia gestão sustentável de resíduos com a adoção de biodigestores. *Thyssenkrupp Brasil*, 26 mar. 2025. Disponível em:

<https://www.thyssenkrupp-brazil.com/noticias/press-releases/press-detail/thyssenkrupp-amplia-gestao-sustentavel-de-residuos-com-a-adocao-de-biodigestores-296548>. Acesso em: 25 ago. 2025.

TRANSPORT & ENVIRONMENT. **Carmakers' lifetime emissions are 50% higher than reported.** 2023. Disponível em: <https://www.transportenvironment.org>. Acesso em: 25 ago. 2025.

UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. *COP29 – Conferência das Partes sobre Mudanças Climáticas da ONU.* Baku, Azerbaijão, 2024. Disponível em: <https://unfccc.int/cop29>. Acesso em: 23 jun. 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC (UFABC). **Relatório técnico: Inventário de emissões de gases de efeito estufa da Universidade Federal do ABC – Ano 2023.** Santo André: UFABC, 2023. Disponível em: <https://www.researchgate.net>. Acesso em: 25 ago. 2025.

WWF BRASIL. *Efeito estufa e mudanças climáticas.* 2023. Disponível em: https://www.wwf.org.br/nossosconteudos/educacaoambiental/conceitos/efeitoestufa_e_mudancasclimaticas/. Acesso em: 23 dez. 2024.