

ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE CARBONO DE PEQUENAS EMPRESAS EM MINAS GERAIS

Daniela Luiz Silva¹, Douglas Silva², Dirceu Ascendente Silva Medeiros¹

¹Ponto Sustentável LTDA, Teófilo Otoni/MG, Brasil (apppontossustentaveis@gmail.com)

²Programa de Pós-Graduação em Planejamento de Sistemas Energéticos, UNICAMP, Campinas, Brasil (d252602@dac.unicamp.br)

Resumo: Este trabalho apresenta parte dos resultados do projeto executado pela Ponto Sustentável, cujo objetivo foi estimar as emissões de gases de efeito estufa de pequenas empresas localizadas no interior de Minas Gerais, utilizando a metodologia GHG Protocol. O inventário foi realizado em três empresas. Os resultados demonstram que o inventário de emissões constitui uma ferramenta estratégica para quantificar emissões, subsidiar ações de mitigação e fortalecer práticas alinhadas à agenda ESG.

Palavras-chave: Gases de efeito estufa; Mudanças climáticas; GHG Protocol; Sustentáveis.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm impulsionado governos, empresas e organizações em todo o mundo a adotar estratégias voltadas à descarbonização de suas atividades econômicas com o objetivo de reduzir a dependência direta e indireta de combustíveis fósseis e limitar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) (Groll, 2023).

Nesse contexto, a estimativa das emissões de GEE constitui a primeira etapa para o planejamento de ações efetivas de mitigação ou compensação dessas emissões, uma vez que permite identificar as principais fontes ou atividades emissoras (*hotspots*), estabelecer e monitorar metas de redução de emissão além de possibilitar medir a efetividade das estratégias implementadas.

Em escala global, o setor energético representa a principal fonte de emissões antrópicas de GEE, sendo o consumo de energia, tanto na forma primária – por meio da queima de combustíveis fósseis como gasolina, diesel e gás natural – quanto na forma secundária, representada pela eletricidade, responsável por 67% das emissões associadas às atividades econômicas (Ritchie, 2020; Ritchie; Rosado, 2020).

Por outro lado, a realidade brasileira apresenta características distintas. Em razão da elevada participação de fontes renováveis na matriz elétrica nacional, que alcançou aproximadamente 80% de renovabilidade em 2025, composta principalmente por usinas hidrelétricas, eólicas, solares fotovoltaicas e de biomassa (EPE, 2025), o setor energético responde por uma parcela relativamente menor das emissões nacionais quando comparado ao cenário mundial (EPE, 2024).

De acordo com dados do Observatório do Clima (Climate Observatory, 2025), as emissões brasileiras de GEE, em 2025, concentraram-se principalmente nos setores de Mudança de Uso da Terra e Florestas, impulsionadas pelo desmatamento, e Agropecuária, sobretudo em função da fermentação entérica, do manejo de dejetos animais e das emissões provenientes do uso do solo, as quais responderam, juntas por 60% das emissões totais em 2025.

Com objetivo de mitigar as emissões de GEE da economia brasileira, em 2009, foi instituída a Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei Federal nº 12.187/2009) que estabeleceu instrumentos como os planos setoriais de mitigação e adaptação, os inventários de emissões e remoções de GEE e a promoção de tecnologias e práticas voltadas à economia de baixo carbono (Brasil, 2009). Embora a Lei não tenha estipulado metas de redução, o Brasil se comprometeu a reduzir suas emissões líquidas entre 59% e 67% até 2035 em relação aos níveis de 2005 (Brasil, 2024a).

Diante deste contexto, torna-se fundamental que os setores da economia empreguem ferramentas ou metodologias capazes de estimar e rastrear as emissões de GEE ao longo das diferentes etapas dos processos produtivos, permitindo identificar oportunidades de melhoria, subsidiar estratégias de descarbonização e apoiar políticas públicas e decisões empresariais relacionadas à sustentabilidade. Diversas metodologias foram desenvolvidas para essa para estimativa das emissões, destacando-se a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), normatizada pelas normas ISO 14040 (ISO, 2006) e o *Greenhouse Gas Protocol* (GHG Protocol) (WRI; WBCSD, 2004).



As pequenas e médias (PeM) empresas representam 90% das empresas em nível global e contribuem para aproximadamente 60% dos impactos ambientais (Gómez-Garza et al., 2024). No cenário brasileiro, PeM empresas são categorizadas pelo número de empregados, variando entre menos que 10 até 499 funcionários de acordo com (IBGE, 2022). Em consonância com o perfil global, segundo dados do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), os pequenos negócios representam cerca de 97% do total de empresas do país e respondem por cerca de 26,5% do Produto Interno Bruto nacional (SEBRAE, 2025).

De acordo com (Darnall; Henriques; Sadorsky, 2010), PeM apresentam menor adoção de práticas ambientais proativas quando comparadas às grandes organizações. Todavia, essas empresas tendem a responder de forma mais célere às pressões exercidas por clientes, cadeias produtivas e instrumentos regulatórios (Darnall; Henriques; Sadorsky, 2010). Diante deste perfil, torna-se fundamental que PeM empresas adotem melhorias na gestão ambiental de seus processos.

Nos últimos anos, a incorporação de critérios ambientais, sociais e de governança (ESG) passou a exercer papel estratégico na gestão das organizações. Além das exigências regulatórias, empresas têm sido pressionadas por investidores, instituições financeiras, consumidores e cadeias produtivas a demonstrar compromisso com práticas sustentáveis e transparência na divulgação de seus impactos socioambientais. Nesse contexto, indicadores ambientais como a gestão de GEE, tornaram-se importantes instrumentos para avaliação do desempenho corporativo, influenciando decisões de investimento, concessão de crédito, certificações e acesso a novos mercados.

No Brasil, uma das principais iniciativas voltadas à transparência climática é o Programa Brasileiro GHG Protocol que criou o “Registro Público de Emissões” onde empresas (pública e privada) e instituições podem divulgar, voluntariamente, seus inventários de GEE, demonstrando transparência quanto ao seu desempenho ambiental e fortalecendo sua credibilidade perante investidores, clientes e demais partes interessadas. Os inventários são construídos com base em ferramenta disponibilizada pelo Programa, a qual foi construída e adaptada da metodologia do *GHG Protocol* (WRI; WBCSD, 2004).

Apesar do crescente interesse por estratégias de descarbonização, a estimativa das emissões de GEE ainda não faz parte da rotina da maioria das empresas brasileiras, especialmente das PeM empresas. Um dos fatores que contribui para esse cenário é a inexistência, até recentemente, de uma regulamentação, em nível

Federal, que tornasse obrigatória a elaboração e divulgação de inventários corporativos de emissões de GEE.

Embora alguns estados, como Rio de Janeiro (INEA, 2012) e São Paulo (CETESB, 2024), possuam legislações específicas que exigem o reporte das emissões para determinados empreendimentos de maior porte, tais exigências restringem-se, em geral, à declaração das emissões junto aos órgãos ambientais, sem estabelecer, necessariamente, metas obrigatórias de redução ou compensação.

Esse cenário, todavia, tende a se modificar com a promulgação da Lei nº 15.042/2024 (Brasil, 2024b), que instituiu o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE). A implementação do mercado regulado de carbono ocorrerá de forma gradual, prevendo inicialmente a obrigatoriedade de monitoramento e reporte das emissões para organizações que ultrapassem determinados limites anuais de emissão, os quais serão progressivamente ampliados durante a consolidação do sistema.

Frente a isso, este trabalho é um desdobramento do projeto 'Impacto ambiental dos resíduos sólidos no meio ambiente', financiado pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). A proposta foi contemplada no edital Inova Mulher N. 01/2024, que visa fomentar projetos de pesquisa e desenvolvimento liderados por mulheres na área de atuação da referida autarquia. A execução é conduzida pela Ponto Sustentável LTDA, empresa sediada em Teófilo Otoni/MG, referência local na gestão integrada de resíduos.

Embora o projeto tenha sido desenhado inicialmente a partir da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), restrições quanto à disponibilidade de dados e à complexidade inerente ao método, somadas à adesão limitada das empresas, demandaram uma reorientação estratégica. Dessa forma, este trabalho apresenta os resultados do projeto obtidos após tais ajustes, tem como objetivo estimar a emissão de gases de efeito estufa de pequenas empresas de cidades do interior do estado de Minas Gerais usando como ferramenta o *GHG Protocol*.

MATERIAL E MÉTODOS

Como alternativa a ACV, o *Greenhouse Gas Protocol* (*GHG Protocol*) consolidou-se internacionalmente como a principal metodologia para elaboração de inventários corporativos de emissões de GEE. Desenvolvido pelo *World Resources Institute* (WRI) e pelo *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD), o *GHG Protocol* fornece diretrizes padronizadas para contabilização das emissões de organizações e tem sido amplamente adotado por empresas, governos, programas



voluntários de reporte e mecanismos de certificação relacionados ao mercado de carbono (WRI; WBCSD, 2004).

Diferentemente da ACV, cujo foco está no produto ou processo e em múltiplas categorias de impacto ambiental, o *GHG Protocol* concentra-se exclusivamente na quantificação das emissões de GEE associadas às atividades de uma organização durante um período de reporte, normalmente correspondente a doze meses (FGV; WRI Brasil, 2008; WRI; WBCSD, 2004). Para quantificar as emissões de GEE, o *GHG Protocol* (WRI; WBCSD, 2004) desagrega as emissões em três escopos distintos:

Escopo 1: compreende as emissões diretas provenientes de fontes pertencentes ou controladas pela organização, como combustão estacionária, combustão móvel, processos industriais e emissões fugitivas.

Escopo 2: contempla as emissões indiretas associadas à geração da eletricidade, vapor, calor ou refrigeração adquiridos e consumidos pela organização.

Escopo 3: engloba as demais emissões indiretas da cadeia de valor, incluindo aquisição de bens e serviços, transporte de matérias-primas e produtos, viagens corporativas, deslocamento de funcionários, tratamento de resíduos, uso e disposição final dos produtos comercializados, entre outras categorias.

Embora apresente menor abrangência ambiental quando comparado à ACV, o *GHG Protocol* demanda um volume menor de informações, possui metodologia mais simples de aplicação e encontra ampla aceitação pelo setor produtivo, tornando-se uma alternativa particularmente interessante para organizações que buscam iniciar seus processos de gestão das emissões de GEE.

A elaboração dos inventários corporativos de emissões de GEE é orientada pelos guias disponibilizados de forma gratuita no website do GHG Protocol. Reporte das emissões de Escopos 1 e 2 é orientado pelo documento “*The GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard*” (WRI; WBCSD, 2004) e a estimativa das emissões de Escopo 3, pelo guia “*The Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard*” (WRI; WBCSD, 2011).

A adaptação ou regionalização das informações e fatores de emissão, ou seja, fatores que convertem um dado de entrada em emissão de dióxido carbono, foi realizado pelo Programa Brasileiro GHG Protocol, coordenado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), em parceria com o *World Resources Institute* (FGV; WRI Brasil, 2008). A regionalização foi possível com a introdução de fatores de emissões disponibilizados, por exemplo, pelo Ministério da Ciência, Tecnologia

e Inovação (MCTI, 2020) e pelo Balanço Energético Nacional (EPE, 2025).

Foi justamente essa diferença de escopo, associada à maior familiaridade ao *GHG Protocol* e às limitações encontradas na obtenção de dados primários junto às empresas participantes, que motivou a reformulação metodológica do projeto, substituindo a abordagem inicialmente baseada em ACV pela elaboração de inventários corporativos de emissões de GEE.

Este trabalho é fruto do projeto “Impacto ambiental dos resíduos sólidos no meio ambiente”, financiado pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e executado pela empresa Ponto Sustentável.

O projeto iniciou-se em 2025 com término previsto para agosto de 2026. Seu objetivo era a elaboração de estudos da avaliação de impactos ambientais, mensurados pela ACV, de diversos produtos, tendo como foco a gestão dos resíduos sólidos gerados nos processos que seriam avaliados.

O projeto centrava-se em criar uma metodologia que facilitasse a realização dos estudos do ciclo de vida de produtos; em mapear e produtos sustentáveis e ecológicos alternativos existentes; em pesquisar produtos ecológicos e sustentáveis que fazem uso da bioeconomia da região semiárida; em fomentar a produção e comercialização dos produtos; em apresentar sugestões de substituição de produtos por outros com menor impacto ambiental negativo.

A elaboração e execução do projeto contou com a parceria da Universidade Federal do Vale do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), por meio da coordenação do Programa de Pós-graduação em Administração Pública.

Entre os resultados esperados, lista-se a divulgação dos estudos para contribuição e incentivo à adoção de alternativas mais ecológicas e sustentáveis por parte das empresas e da sociedade, bem como a promoção da valorização da produção, comercialização e do consumo de produtos sustentáveis oriundos da região semiárida. Adicionalmente, o projeto visava que as metodologias e os procedimentos desenvolvidos pudessem servir de modelo para a estruturação de um serviço de apoio às empresas interessadas em mensurar, gerenciar e mitigar seus impactos ambientais, especialmente aqueles relacionados às emissões de gases de efeito estufa.

Neste caso, o objetivo é estimar as emissões totais de uma empresa durante um período de reporte, geralmente correspondente a doze meses, classificando-as em Escopos 1, 2 e 3, independentemente dos produtos fabricados.

O primeiro passo consistiu na contratação de dois profissionais para apoiar a equipe da Ponto

Sustentável no desenvolvimento do projeto. Em seguida, foi elaborada uma lista das empresas que seriam contatadas para participação na pesquisa. Posteriormente, com o apoio desses profissionais, foi desenvolvido o questionário utilizado na coleta de dados.

Para elaborar o questionário, a equipe selecionou uma série de perguntas consideradas comuns à maioria das atividades econômicas, independentemente do setor produtivo. Entre os principais dados solicitados estavam o consumo mensal de energia elétrica, consumo de combustíveis veiculares (gasolina, diesel e etanol), número de colaboradores, localização da empresa, principal produto ou serviço desenvolvido, consumo de água e horas diárias de funcionamento. Cada pergunta era acompanhada por orientações de preenchimento e exemplos indicando onde as informações poderiam ser obtidas, como contas de energia elétrica, contas de água, notas fiscais de abastecimento e documentos administrativos da empresa.

A seleção das perguntas procurou estabelecer um equilíbrio entre a facilidade de preenchimento e qualidade das estimativas obtidas. O objetivo foi reduzir a carga de informações exigidas das empresas sem comprometer a representatividade do inventário de emissões. Em situações nas quais determinadas informações não estavam disponíveis, foram empregadas estimativas indiretas baseadas em parâmetros amplamente utilizados na literatura e em bases de dados oficiais. A geração de efluentes domésticos, por exemplo, foi estimada a partir do consumo médio de água (ABNT, 1986). De forma semelhante, a geração de resíduos sólidos urbanos foi estimada a partir da quantidade de colaboradores da empresa e dos indicadores médios publicados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (Brasil, 2023). Essas aproximações permitiram estimar as emissões indiretas associadas ao tratamento de efluentes e à disposição final dos resíduos sólidos em aterros sanitários, contempladas no Escopo 3 do inventário de emissões.

Desa forma, o instrumento de coleta de dados consiste em um questionário estruturado, composto por 35 questões, abrangendo tanto perguntas abertas quanto fechadas.

Para a realização do estudo, foi elaborada uma lista com 17 empresas, a maioria localizada no município de Teófilo Otoni (MG). Destas, foi possível estabelecer contato com 9 empresas, das quais 4 concordaram em participar da pesquisa. Até o momento, 3 das empresas participantes já concluíram o inventário de emissões de gases de efeito estufa, elaborado conforme a metodologia proposta no projeto. Elas serão identificadas neste trabalho como “Empresa A”, “Empresa B” e “Empresa C”. A

Empresa A está localizada em Teófilo Otoni. A Empresa B, em Araçuaí, e a Empresa C está localizada em Nanuque.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o aceite da empresa, o responsável pelo fornecimento das informações recebia um questionário *online* estruturado para levantamento dos dados necessários à elaboração do inventário de emissões.

A Empresa A, situada no município de Teófilo Otoni, tem como principal produto os tijolos ecológicos. A empresa tem quase 1 ano de operação e conta com três funcionários dedicados integralmente à produção. Seu principal insumo, a terra, é obtido das empresas de terraplenagem da cidade que realiza a entrega da matéria prima nas instalações da empresa, o que reduz a necessidade de transporte (Figura 1).



Figura 1. Tijolos produzido pela Empresa A.

Com foco na excelência, os fundadores investiram em capacitações técnicas para assegurar que a produção segue rigorosos padrões de qualidade. Embora o processo seja simples, o diferencial reside na precisão técnica e no equilíbrio exato da combinação das matérias-primas.

O tijolo ecológico (solo-cimento) é uma solução de engenharia inteligente que substitui a alvenaria convencional por um sistema de encaixe prático. Produzido por meio de prensagem e cura hidráulica, ele dispensa a queima em fornos, eliminando a emissão de CO₂ e o desmatamento. Além de ser fabricado sem queima de combustíveis fósseis ou lenha, o tijolo ecológico proporciona um excelente isolamento térmico e acústico graças às suas câmaras de ar internas. Isso resulta em ambientes mais confortáveis e redução no consumo de energia com climatização.

A estimativa das emissões de GEE da produção de tijolos no ano de 2025 foi realizada para os três escopos – contabilizando as emissões de GEE diretas e indiretas. Todavia, visto que a produção dos tijolos dispensa uso de combustão e a empresa não possui



automóveis próprios, todas as emissões estimadas são indiretas.

De Bortoli *et al.* (2023) relatam a dificuldade das organizações para reportar suas emissões de Escopo 1 por dificuldades para consolidar dados de sua atividade, pois possuem diferentes unidades, baixa digitalização ou registros dispersos além da ausência de treinamentos das equipes responsáveis pelo fornecimento das informações. Já em relação ao Escopo 3, o desafio se amplifica uma vez que as empresas estudadas não possuíam dados dos fornecedores e os fornecedores, por sua vez, também não conheciam suas emissões de GEE, dificultando o cômputo das emissões da cadeia de valor das empresas (De Bortoli *et al.*, 2023).

De acordo com Fernandes *et al.* (2024), o fator médio de emissão da produção de cimento no Brasil é de 564 kg CO₂eq por tonelada de cimento. Considerando o consumo semanal de 20 sacos de cimento (equivalentes a 1 tonelada), as emissões indiretas de GEE associadas ao consumo de cimento nos últimos 12 meses foram estimadas em aproximadamente 30 t CO₂eq.

Em relação ao consumo de eletricidade, a empresa utiliza em média 250 kWh por mês. Considerando os últimos 12 meses e o fator médio de emissão de 2025 do Sistema Interligado Nacional (SIN), de 0,046 t CO₂eq/MWh, divulgado pelo MCTI (2025), estima-se uma emissão indireta de aproximadamente 0,14 t CO₂eq associada ao consumo de eletricidade da rede.

Quanto à geração de resíduos, considerando a média de 381 kg de resíduos gerados por pessoa por ano no Brasil, de acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2019), os três funcionários da Empresa A foram responsáveis pela geração aproximada de 1,2 toneladas de resíduos no último ano. Desse total, cerca de 50% correspondem a resíduos orgânicos, que, na média nacional, são destinados a aterros ou lixões. Com base nesses dados, estima-se uma emissão de aproximadamente 0,64 t CO₂eq associada ao descarte inadequado de resíduos orgânicos no município de Teófilo Otoni.

Portanto, considerando o ano de 2025, estima-se que a Empresa A tenha sido responsável pelas seguintes emissões indiretas de gases de efeito estufa:

- 0,14 t CO₂eq associadas ao consumo de eletricidade (Escopo 2);
- 30 t CO₂eq associadas ao consumo de cimento (Escopo 3 – emissões upstream);
- 0,64 t CO₂eq associadas ao destino de resíduos orgânicos (Escopo 3 – emissões downstream).

Considerando essas emissões e uma produção de 3.600 tijolos por semana, pode-se inferir que uma emissão de 0,16 kg CO₂eq/tijolo por ano enquanto os tijolos tradicionais, que demandam elevado consumo de energia nos altos fornos, têm emissões médias de 0,40 kg CO₂eq/tijolo, ou seja, uma redução de 60% das emissões de GEE (Kunnathanam, 2026 e Surgelas, 2017).

Em uma revisão sistemática de 112 estudos publicados ao longo de duas décadas, Johnson e Schaltegger (2016) identificaram que, embora existam diversas metodologias disponíveis, a maioria delas apresenta baixa aplicabilidade prática nas PeM empresas. Entre as principais barreiras destacam-se a limitada conscientização sobre questões ambientais, a falta de conhecimento técnico, a escassez de recursos financeiros e humanos, a baixa percepção dos benefícios associados à sua implementação e a elevada complexidade de ferramentas originalmente desenvolvidas para grandes empresas.

No mesmo sentido, Revell, Stokes e Chen (2010) observaram que a maioria das PeM empresas demonstra preocupação com as questões ambientais e já adota ações relativamente simples, como reciclagem, eficiência energética e compras sustentáveis. Entretanto, práticas mais estruturadas, como a implantação de sistemas formais de gestão ambiental e o estabelecimento de políticas ambientais, permanecem pouco difundidas. Os autores atribuem esse cenário principalmente ao aumento dos custos, à falta de tempo, à limitação de recursos e à dificuldade de transformar boas intenções em ações sistemáticas, fenômeno denominado de *value-action gap*. Gómez-Garza *et al.* (2024) em seu estudo também identificaram que a escassez de pessoal qualificado, à indisponibilidade de dados e aos custos associados à ACV inviabilizam a adoção dessa abordagem por PeM empresas.

A Empresa B, atuante no segmento de produção e distribuição de sorvetes localizada no município de Araçuaí (MG), tem como principal atividade a fabricação e comercialização de sorvetes e gelados comestíveis. A operação envolve etapas de produção, armazenamento refrigerado e distribuição dos produtos, o que demanda consumo energético significativo e uso de combustíveis na logística. A empresa possui quase 10 anos de atuação, uma equipe de 50 funcionários, e garante o abastecimento de mais de 45 sorveterias da rede com presença consolidada em diversos municípios de Minas Gerais e Bahia.

As emissões da Empresa B estão concentradas principalmente no uso de energia elétrica para refrigeração e na combustão de combustíveis fósseis utilizados pela frota de distribuição. Ainda assim, esse tipo de operação apresenta oportunidades relevantes



de redução de emissões por meio de eficiência energética e otimização logística.

A estimativa das emissões de gases de efeito estufa (GEE) da Empresa B no ano de 2025 foi realizada considerando os três escopos do GHG Protocol, contemplando emissões diretas e indiretas associadas às atividades operacionais.

Em relação ao consumo de eletricidade (Escopo 2), estima-se uma emissão anual de aproximadamente 13 tCO₂eq, associada principalmente ao funcionamento contínuo de freezers, câmaras frias e equipamentos de conservação térmica. Embora o Brasil possua uma matriz elétrica relativamente limpa, o uso intensivo de refrigeração torna essa fonte relevante no inventário.

Quanto às emissões diretas (Escopo 1), associadas à combustão móvel e ao uso de combustíveis líquidos com gasolina automotiva, diesel e etanol, a operação da frota de distribuição resultou em aproximadamente 29 tCO₂eq. Adicionalmente, foram contabilizadas 9,25 tCO₂ de origem biogênica, decorrentes do uso de biocombustíveis, reportadas separadamente conforme as diretrizes do GHG Protocol.

No que se refere às emissões indiretas de Escopo 3, relacionadas à cadeia de valor, destacam-se as emissões provenientes do transporte de produtos (1,96 tCO₂eq), viagens a negócios (0,10 tCO₂eq) e tratamento de resíduos sólidos gerados na operação (3,22 tCO₂eq). Além disso, foram estimadas 0,3 tCO₂ biogênico associadas à etapa de transporte. As emissões de Escopo 3 representam emissões oriundas de todas as atividades e processos relacionados à produção da empresa. Essas emissões não ocorrem no local de produção, mas sim na cadeia de valor, podendo incluir emissões devido ao frete de produto, disposição final de resíduos e tratamento efluentes domésticos, em aterros sanitários controlados e estações de tratamento de esgoto, respectivamente.

Considerando essas fontes, a Empresa A apresentou as seguintes emissões totais no período analisado:

- 29,0 tCO₂eq no Escopo 1 (emissões diretas);
- 13,0 tCO₂eq no Escopo 2 (eletricidade adquirida);
- 5,3 tCO₂eq no Escopo 3 (emissões indiretas);

Totalizando 47,3 tCO₂eq, além de 9,6 t de emissões biogênicas.

As estimativas de emissões de forma indireta foram necessárias, pois as empresas contatadas tinham dificuldade para obter dados da cadeia de suprimentos, o que poderia comprometer a avaliação e a estimativa. Essa dificuldade foi relatada no estudo de (Halat *et al.*,

2026), que diagnosticou os desafios relacionados à contabilização das emissões de Escopo 3 de PeM empresas.

Embora essas simplificações introduzem incertezas inerentes ao processo de estimativa, elas mostraram-se fundamentais para viabilizar a elaboração dos inventários em empresas que não possuíam registros ambientais sistematizados, permitindo ampliar a participação das organizações no projeto sem comprometer o objetivo principal de sensibilização e gestão das emissões de gases de efeito estufa.

Em relação ao consumo de eletricidade, a empresa informou um consumo aproximado de 100 kWh por mês nos últimos 12 meses. Considerando o fator médio de emissão de 2025 do Sistema Interligado Nacional (SIN), de 0,046 tCO₂eq/MWh, divulgado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), estima-se uma emissão indireta de aproximadamente 0,055 tCO₂eq associada ao consumo de eletricidade da rede.

Vale ressaltar o compromisso estratégico da Empresa B com a minimização de impactos ambientais, por meio de práticas operacionais conscientes e estratégias de substituição de insumos. As iniciativas atuais incluem: redução de descartáveis na produção, gestão de resíduos orgânicos e o uso de embalagens sustentáveis.

Para a Empresa C, foi adotado o mesmo procedimento metodológico aplicado às demais empresas participantes. A empresa tem como principal atividade a prestação de serviços de controle biológico de pragas agrícolas por meio de drones. A empresa conta com cinco funcionários e atua principalmente no monitoramento e controle de pragas em cultivos de cana-de-açúcar, utilizando técnicas de agricultura de precisão e manejo biológico.

A empresa possui dois drones utilizados para monitoramento e aplicação dos agentes biológicos, além de um biotransportador para acondicionamento e transporte dos insetos. Os drones são alimentados por baterias elétricas, cuja vida útil é de aproximadamente cinco meses, sendo posteriormente descartadas e encaminhadas para reciclagem.

Quanto às emissões diretas provenientes da frota própria, a empresa informou o consumo de aproximadamente 1.282 litros de etanol nos últimos 12 meses. Considerando os fatores de emissão do Programa Brasileiro GHG Protocol, estima-se uma emissão de aproximadamente 2,0 toneladas de CO₂ de origem biogênica, reportadas separadamente das emissões fósseis, conforme as diretrizes do protocolo.

Em relação às emissões indiretas de Escopo 3, destacam-se aquelas associadas às viagens a negócios, ao transporte dos agentes biológicos provenientes de outro município, ao tratamento de resíduos sólidos



gerados na operação e às emissões incorporadas na fabricação e reciclagem das baterias dos drones. Considerando uma vida útil média de cinco meses e o encaminhamento das baterias para reciclagem, estima-se uma emissão de aproximadamente 0,02 toneladas de CO₂eq associada à fabricação e ao tratamento de fim de vida das baterias.

As emissões embutidas de carbono decorrentes da fabricação das baterias foram estimadas com base nos fatores de emissão (15 kg CO₂eq por kg bateria) obtidos de Ellingsen, Singh e Stromman (2016). Já as emissões atribuídas ao processo de reciclagem foram estimadas tendo como referências os fatores de emissão (1,0 kg CO₂eq por kg de bateria) reportados por Cieslik e Skowronska (2021).

Quanto à geração de resíduos, considerando a média de 381 kg de resíduos gerados por pessoa por ano no Brasil, de acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2019), os cinco funcionários da empresa foram responsáveis pela geração aproximada de 1,9 tonelada de resíduos no último ano. Com base na composição média dos resíduos sólidos urbanos e nas taxas nacionais de destinação em aterros, estima-se uma emissão de aproximadamente 1,0 toneladas CO₂eq associada ao tratamento e disposição final desses resíduos.

Portanto, considerando o ano de 2025, estima-se que a Empresa C tenha sido responsável pelas seguintes emissões de gases de efeito estufa:

- 0,055 tCO₂eq associadas ao consumo de eletricidade (Escopo 2);
- 0,02 tCO₂eq associadas à fabricação e reciclagem das baterias (Escopo 3 – emissões upstream e downstream);
- 1,0 tCO₂eq associada ao tratamento e disposição de resíduos sólidos (Escopo 3 – emissões downstream);
- 2,0 tCO₂ de origem biogênica associadas ao consumo de etanol na frota própria (Escopo 1 – emissões biogênicas).

Mesmo considerando essas emissões indiretas (Escopo 3), a prestação de serviços de controle biológico de pragas por meio de drones representa uma alternativa mais sustentável em comparação aos métodos convencionais de controle químico, pois reduz o uso de defensivos agrícolas, minimiza os impactos ambientais associados à pulverização mecanizada e promove práticas agrícolas mais eficientes e de menor impacto ambiental. Além disso, a utilização de tecnologias de agricultura de precisão contribui para o avanço da produção agropecuária sustentável e para a transição para uma economia de baixo carbono.

A baixa pressão regulatória, aliada aos custos de implementação e à limitada disponibilidade de dados ambientais, reduz o incentivo para que PeM empresas elaborem inventários voluntários de emissões. Embora os pesquisadores sempre destacam o caráter voluntário do projeto, seus benefícios enfatizaram que não haveria custos para empresas, o desinteresse ainda permanecia. Com o Mercado Brasileiro de Carbono, espera-se que um número crescente de empresas passe a elaborar inventários de emissões como requisito para atendimento às exigências legais e participação no mercado regulado de carbono. de levantamento, encarando-o frequentemente como um custo adicional, sem retorno econômico direto.

Ao final da elaboração dos inventários de emissões de gases de efeito estufa, cada empresa participante recebeu uma cópia do seu respectivo inventário para consulta e acompanhamento de seus indicadores ambientais. Além disso, foi produzido um artigo com um resumo dos principais resultados obtidos, que foi publicado no blog da Ponto Sustentável, com o objetivo de divulgar a iniciativa, promover a transparência e incentivar a adoção de práticas voltadas à gestão das emissões e à sustentabilidade corporativa.

Apesar dos desafios encontrados para sua execução, o projeto trouxe consigo resultados positivos, entre eles destacam-se: aproximação universidade-empresa; disseminação da cultura de inventários e o comprometimento das empresas com a agenda da sustentabilidade e sua integração aos processos organizacionais.

CONCLUSÃO

O produto da Empresa A se mostrou ser um excelente substituto do tijolo de alvenaria convencional por um sistema de encaixe prático. Produzido por meio de prensagem e cura hidráulica, ele dispensa a queima em fornos, eliminando a emissão de CO₂ e o desmatamento. Além de ser fabricado sem queima de combustíveis fósseis ou lenha.

A Empresa B se destaca seu compromisso estratégico com a minimização de impactos ambientais, por meio de práticas operacionais conscientes e estratégias de substituição de insumos revelou a importância de adotar práticas sustentáveis na operação do negócio.

A Empresa C mostrou que é possível oferecer um serviço de controle biológico de pragas por meio de drones de forma mais sustentável, sendo uma alternativa aos métodos convencionais de controle químico, pois reduz o uso de defensivos agrícolas, minimiza os impactos ambientais associados à pulverização mecanizada e promove práticas agrícolas mais eficientes e de menor impacto ambiental.

A elaboração dos inventários de emissões de gases de efeito estufa para as três empresas participantes



demonstrou-se uma ferramenta relevante para o diagnóstico e a gestão das emissões, fornecendo informações que podem subsidiar a definição de estratégias voltadas à redução dos impactos ambientais e ao fortalecimento das práticas de sustentabilidade.

Observou-se que as três empresas que aderiram voluntariamente ao projeto já possuíam iniciativas relacionadas à sustentabilidade, seja por adotarem práticas de gestão ambiental em suas operações ou por desenvolverem produtos com atributos sustentáveis. Esse cenário evidencia que organizações com maior maturidade em sustentabilidade tendem a reconhecer o valor estratégico dos inventários de emissões como instrumento de monitoramento, tomada de decisão e aprimoramento contínuo de seu desempenho ambiental.

Dessa forma, conclui-se que o inventário de emissões representa não apenas uma ferramenta de quantificação dos gases de efeito estufa, mas também um importante mecanismo de apoio à implementação de ações de mitigação, ao atendimento de requisitos de mercado e ao fortalecimento da agenda ESG nas organizações.

A metodologia proposta pelo GHG Protocol mostrou-se mais compatível com a realidade das empresas participantes. Embora sua aplicação também dependa da disponibilidade de dados primários, o volume de informações requerido é consideravelmente menor, concentrando-se principalmente no levantamento dos consumos anuais de energia, combustíveis, insumos e demais atividades potencialmente emissoras. Além disso, o GHG Protocol disponibiliza gratuitamente planilhas padronizadas para elaboração de inventários corporativos, facilitando sua adoção por empresas que ainda não possuem sistemas estruturados de gestão ambiental.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (Sudene) pelo financiamento do projeto, cujo apoio foi fundamental para fortalecer a temática voltada à sustentabilidade e fomentar o empreendedorismo feminino na região do semiárido.

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) pelo apoio institucional e técnico prestado durante a elaboração dos inventários de emissões de gases de efeito estufa.

Às empresas (A), (B) e (C), que aderiram voluntariamente à proposta e demonstraram compromisso com a gestão ambiental e a sustentabilidade corporativa. Estendemos ainda nossos agradecimentos às empresas prestadoras de

serviço parceiras, cujo suporte foi essencial para a execução das atividades previstas e para o alcance dos resultados do projeto.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR 9649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.
- BRASIL. Diagnóstico Temático: Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – Visão Geral: ano de referência 2022. Rio de Janeiro: Ministério das Cidades, 2023.
- BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) e dá outras providências. Diário Oficial da União, n. 12.187, 12.187, 2009.
- BRASIL. Federal. Lei nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024. Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE). Diário Oficial da União, n. 15.042, 15.042, 2024b.
- CETESB. Decisão de Diretoria nº 083/2024/A, de 3 de outubro de 2024. Dispõe sobre os critérios para a elaboração do inventário de emissões de gases de efeito estufa (GEE), os quais deverão ser adotados para o envio do referido inventário de emissões à CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, e dá outras providências. 2024.
- CIEŚLIK, E.; SKOWROŃSKA, A. The environmental impacts of lithium-ion battery recycling: a review. *Energies*, v. 14, n. 20, 2021.
- CLIMATE OBSERVATORY. The Greenhouse Gas Emissions and Removals Estimating System (SEEG). [S. l.], 2025. Disponível em: https://plataforma.seeg.eco.br/?highlight=br-emissions-by-sector-energy&_gl=1*loq9ul*_ga*Mjg5OTE3MjI1LjE3NDczMzk5MDE.*_ga_XZWSWEJDWQ*cze3NDczMzk5MDEkbzEkZzAkDDE3NDczMzk5MDEkajAkBDaKaDA. Acesso em: 15 maio 2025.
- DARNALL, N.; HENRIQUES, I.; SADORSKY, P. Adopting Proactive Environmental Strategy: The Influence of Stakeholders and Firm Size. *Journal of Management Studies*, [s. l.], v. 47, n. 6, p. 1072–1094, 2010.
- DE BORTOLI, A. *et al.* Planning sustainable carbon neutrality pathways: accounting challenges experienced by organizations and solutions from industrial ecology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, [s. l.], v. 28, n. 7, p. 746–770, 2023.
- ELLINGSEN, L. A.-W.; SINGH, B.; STRØMMAN, A. H. The size and range effect: lifecycle greenhouse gas emissions of electric vehicles. *Environmental Research Letters*, v. 11, n. 5, 2016.



EPE. Balanço Energético Nacional 2024. Ano base 2023. [s. l.], 2024.

EPE. Balanço Energético Nacional 2025. [S. l.], 2025. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2025>. Acesso em: 9 set. 2025.

FERNANDES, P. D. MESQUITA, Pedro Paulo Dias; BRAGA, João Paulo Carneiro de Holanda; SOUZA, Rodrigo Mendes Leal de. Descarbonização da indústria de base. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), 2024.

FGV; WRI BRASIL. Programa Brasileiro GHG Protocol. [S. l.]: [s. d.], 2008. Disponível em: <https://ghgprotocolbrasil.com.br>.

GÓMEZ-GARZA, R. *et al.* Barriers and enablers of life cycle assessment in small and medium enterprises: a systematic review. *Environment, Development and Sustainability*, [s. l.], 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s10668-024-05622-1>. Acesso em: 26 jun. 2026.

GROLL, M. Can climate change be avoided? Vision of a hydrogen-electricity energy economy. *Energy*, [s. l.], v. 264, p. 126029, 2023.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Demografia das Empresas e Estatísticas de Empreendedorismo. Rio de Janeiro, 2022.

KUNNATHANAM, S. *et al.* Life cycle carbon emissions and thermal performance of unfired bricks for sustainable construction materials. *Case Studies in Construction Materials*, 2026.

MCTI. Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2020.

MCTI. Fatores de emissão. Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE). Brasília: MCTI. 2025.

REVELL, A.; STOKES, D.; CHEN, H. Small businesses and the environment: turning over a new leaf?. *Business Strategy and the Environment*, [s. l.], v. 19, n. 5, p. 273–288, 2010.

RITCHIE, H.; ROSADO, P. Energy Mix. *Our World in Data*, [s. l.], 2020. Disponível em: <https://ourworldindata.org/energy-mix>. Acesso em: 20 maio 2025.

SEBRAE. Confira os grandes números dos pequenos negócios no Brasil | ASN Nacional - Agência Sebrae de Notícias. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://agenciasebrae.com.br/dados/confira-os-grandes-numeros-dos-pequenos-negocios-no-brasil/>. Acesso em: 27 jun. 2026.

SURGELAS, V. Life cycle inventory of ceramic brick, concrete block and construction and demolition waste brick: case study in Belo Horizonte, Brazil. *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*, 2017.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2019. Brasília: MDR/SNS, 2020.

WRI; WBCSD. Corporate Value Chain (Scope 3). Accounting and Reporting Standard. [S. l.]: [s. d.], 2011.

WRI; WBCSD. The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard. Washington: [s. d.], 2004.