

EMISSÕES DE GEE E ESTRATÉGIAS DE DESCARBONIZAÇÃO NA INDÚSTRIA DA TRANSFORMAÇÃO BRASILEIRA

Victor Santos Carneiro
Stoécio Malta Ferreira Maia



**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
MESTRADO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS**

VICTOR SANTOS CARNEIRO

**EMISSÕES DE GEE E ESTRATÉGIAS DE DESCARBONIZAÇÃO
NA INDÚSTRIA DA TRANSFORMAÇÃO BRASILEIRA**

**Relatório Técnico Conclusivo
Tecnologias e Inovações Ambientais**

**Marechal Deodoro – AL
2025**



**Dados Internacionais de Catalogação na
Publicação Instituto Federal de Alagoas
Campus Marechal Deodoro
Biblioteca Dorival Apratto**

363.7

C289e

Carneiro, Victor Santos.

Emissões de GEE e estratégias de descarbonização na indústria da transformação brasileira / Victor Santos Carneiro, Stoécio Malta Ferreira Maia. – Dados eletrônicos (1 arquivo : 9,02 MB). – 2025.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: Internet.

Produto Técnico Educacional (Mestrado Profissional em Tecnologias Ambientais) – Instituto Federal de Alagoas, *Campus* Marechal Deodoro, Marechal Deodoro, 2025.

1. Gases de Efeito Estufa. 2. Responsabilidade ambiental. 3. Indústria da transformação brasileira. 4. Descarbonização. I. Maia, Stoécio Malta Ferreira. II. Título.

Andreia Gomes de Azevedo | Bibliotecária – CRB-4/AL-2164

EXPEDIENTE TÉCNICO

INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS – IFAL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO – PRPPI

Reitor:

Carlos Guedes de Lacerda

Pró-Reitora de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação:

Eunice Palmeira da Silva

Coordenadora do Mestrado em Tecnologias Ambientais:

Joabe Gomes de Melo

Autores:

Victor Santos Carneiro

Prof. Dr. Stoécio Malta Ferreira Maia

Projeto Gráfico:

Camila Karoline Justino Marques



SUMÁRIO EXECUTIVO

Este Produto Técnico Tecnológico é resultado da pesquisa desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTEC), com o objetivo de diagnosticar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) da indústria da transformação brasileira e propor estratégias para sua descarbonização.

A indústria da transformação brasileira ocupa papel estratégico na economia nacional, representando cerca de 15% do PIB em 2023. No entanto, esse protagonismo vem acompanhado de uma crescente responsabilidade ambiental. As emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) do setor aumentaram significativamente nas últimas décadas, impulsionadas pelo uso intensivo de fontes fósseis e pela expansão da atividade produtiva. Entre 2016 e 2020, as emissões do setor de processos industriais e uso de produtos cresceram de 90,1 para 102,9 MtCO₂e, em um cenário global de agravamento das mudanças climáticas.

Apesar da urgência climática, muitas organizações industriais ainda operam sem metas claras de descarbonização. A ausência de indicadores robustos e a baixa integração entre inventários de GEE e ações para reversão dificultam o monitoramento e a efetividade das estratégias ambientais.

Este Produto Técnico Tecnológico apresenta um diagnóstico detalhado das emissões de GEE da indústria da transformação brasileira, com foco nas emissões de Escopo 1, a partir da análise de 264 inventários corporativos de 88 organizações, publicados entre 2021 e 2023 no Registro Público de Emissões do Programa Brasileiro GHG Protocol, coordenado pela Fundação Getulio Vargas (FGV). As empresas foram classificadas em 14 subsetores industriais, permitindo uma avaliação segmentada e comparável.

Os resultados revelam que os subsetores de metalurgia e construção civil concentram aproximadamente 75% das emissões diretas do setor. As categorias de processos industriais e combustão estacionária respondem por mais de 90% das emissões de Escopo 1. Além disso, apenas 10 organizações são responsáveis por 91% das emissões totais, evidenciando uma forte concentração em poucos agentes econômicos e a necessidade de ações direcionadas.

A análise também identificou que apenas 44% das organizações reportaram indicadores de descarbonização em seus inventários, e menos de 15% implementaram projetos de compensação. Essa lacuna compromete a capacidade de monitoramento e dificulta o alinhamento com as exigências regulatórias e de mercado. Nenhuma das 10

maiores emissoras relatou iniciativas de compensação, o que reforça a urgência de maior engajamento com práticas de neutralização de emissões.

Foram construídos cenários prospectivos de descarbonização até 2030 para os subsetores de metalurgia e construção civil. No cenário de descarbonização, estima-se uma redução potencial de 8,4 MtCO₂e para a produção de aço e 6,8 MtCO₂e para a produção de cimento, com base em metas corporativas e projeções populacionais. Esses cenários demonstram que a adoção de tecnologias limpas, como hidrogênio verde, coprocessamento de resíduos e eletrificação de processos, pode gerar impactos significativos na redução das emissões.

A descarbonização da indústria da transformação exige a superação de barreiras econômicas, institucionais e tecnológicas. A ausência de dados setoriais consolidados, a baixa padronização de indicadores e a limitada adoção de projetos de compensação são desafios críticos. A atuação do Estado, por meio de políticas públicas estruturadas, incentivos fiscais e regulamentação ambiental, é essencial para viabilizar a transição para uma economia de baixo carbono.

Este relatório técnico oferece subsídios práticos para o planejamento estratégico e a tomada de decisão no setor industrial, contribuindo para o avanço da governança climática no Brasil. A descarbonização deve ser encarada como uma oportunidade de inovação, competitividade e fortalecimento da reputação institucional, alinhando o setor industrial às diretrizes nacionais e internacionais de sustentabilidade.

ÍNDICE

1. Descrição da Situação-Problema
2. Objetivos
3. Metodologia
4. Diagnóstico e Análise
5. Resultados, Impactos e Soluções
6. Conclusões e Recomendações
7. Referências



1. Descrição da Situação-Problema

As mudanças climáticas configuram um dos maiores desafios da atualidade, com repercussões diretas sobre a economia, a sociedade e os modelos de produção. No Brasil, a indústria da transformação — responsável por aproximadamente 15% do Produto Interno Bruto (PIB) — figura entre os principais emissores de GEE, sobretudo nas categorias de processos industriais e combustão estacionária.

Diante desse cenário, torna-se urgente a adoção de medidas eficazes para mitigar as emissões e alinhar o setor industrial às metas climáticas estabelecidas em acordos internacionais. No entanto, muitas organizações ainda operam sem diretrizes claras de descarbonização e apresentam baixa integração entre seus inventários de GEE e estratégias ambientais consistentes.

Este Produto Técnico-Tecnológico tem como objetivo diagnosticar os principais desafios enfrentados pela indústria da transformação brasileira no processo de descarbonização, além de propor estratégias que viabilizem essa transição. Para tanto, realiza-se uma avaliação detalhada dos padrões de emissão de GEE, com identificação dos subsetores e categorias mais relevantes, bem como análise de indicadores ambientais e iniciativas de compensação atualmente em curso.

Complementarmente, são desenvolvidos cenários prospectivos até o ano de 2030 para os subsetores de metalurgia e construção civil, estimando o potencial de redução de emissões com base em dados empíricos e projeções populacionais. Os resultados obtidos oferecem subsídios técnicos para a formulação de políticas públicas e o aprimoramento de estratégias empresariais, contribuindo para a construção de uma economia de baixo carbono.

Além de mitigar os impactos ambientais, a descarbonização industrial representa uma oportunidade estratégica para o setor: ela pode gerar ganhos competitivos, fortalecer a imagem institucional das empresas e atender às crescentes exigências regulatórias e de mercado. A seguir, apresenta-se a metodologia adotada para o desenvolvimento deste estudo.

2. Metodologia

O relatório técnico foi elaborado utilizando dados secundários provenientes de inventários corporativos de emissões de GEE. A principal fonte de dados foi o Registro Público de Emissões (RPE), plataforma do Programa Brasileiro GHG Protocol, gerido pela Fundação Getulio Vargas, mas também foram consultadas publicações oficiais das empresas.

Foram analisados inventários corporativos publicados entre 2021 e 2023 por organizações da indústria da transformação brasileira, permitindo identificar padrões de emissão, subsetores mais impactantes e práticas de gestão ambiental. As empresas foram agrupadas em 14 subsetores, o que possibilitou uma análise direcionada e comparável entre segmentos industriais, tão heterogêneos entre si.

A análise concentrou-se nas emissões de Escopo 1, por representarem a maior contribuição do setor.

Foram avaliadas categorias predominantes, indicadores de desempenho e iniciativas de compensação, destacando que poucas organizações adotam cenários de compensação ou apresentam métricas robustas.

Com base nesses dados, foram construídos cenários prospectivos de descarbonização até 2030 para os subsetores de maior impacto (metalurgia e construção civil), utilizando projeções populacionais e taxas médias de consumo para estimar produção futura e potencial de redução de emissões.

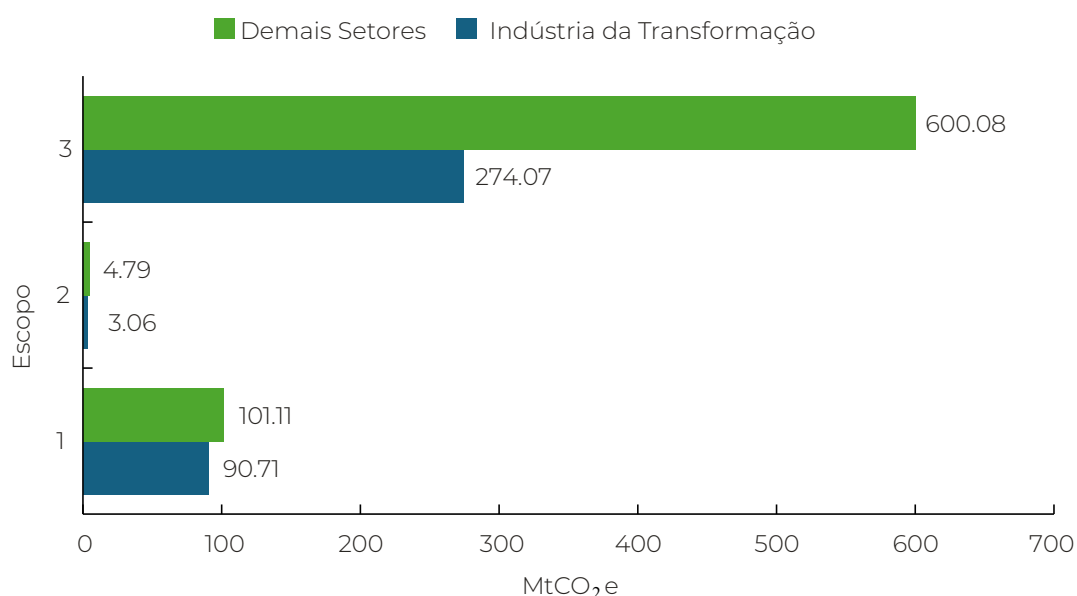
Essa abordagem permite avaliar a contribuição do setor industrial para a mitigação das mudanças climáticas, destacando oportunidades de redução e fornecendo subsídios técnicos para decisões estratégicas do setor produtivo e do governo.

3. Diagnóstico e Análise

3.1. Perfil de Emissões

A indústria da transformação brasileira apresentou média anual de emissão de 90,71 MtCO₂e entre 2021 e 2023, representando 47% das emissões diretas reportadas no Registro Público de Emissões (Figura 1). Esse dado reforça a relevância do setor para as metas nacionais de descarbonização.

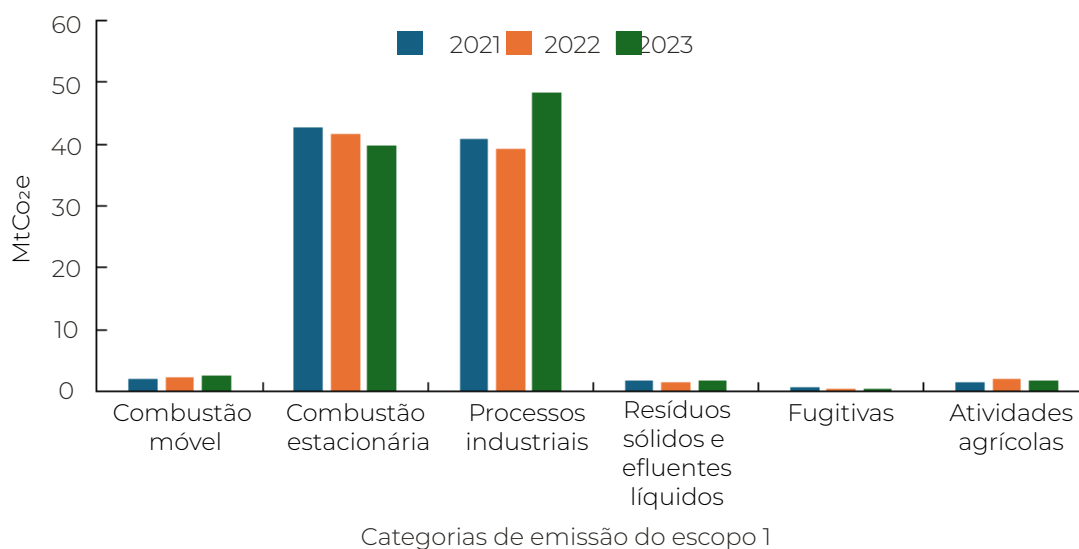
Figura 1 - Comparação da média de emissões de GEE de escopo 1 entre todos os setores empresariais e a indústria da transformação no Brasil (2021–2023)



Fonte: Adaptado do Registro Público de Emissões (2024).

As emissões concentram-se nas categorias de processos industriais e combustão estacionária, que respondem por 92,8% do total (Figura 2). Essa predominância está associada à produção de aço e cimento, principais fontes emissoras de GEE.

Figura 2 - Distribuição média das emissões de escopo 1 por categoria na indústria da transformação brasileira (2021–2023)



Fonte: Adaptado do Registro Público de Emissões (2024).

3.2 Distribuição por Subsetores

A análise por subsetor (Tabela 1 e Figura 3) indica que metalurgia (53,0%) e construção civil (21,7%) são os segmentos mais emissores, seguidos pelo setor químico e plástico (9,9%).

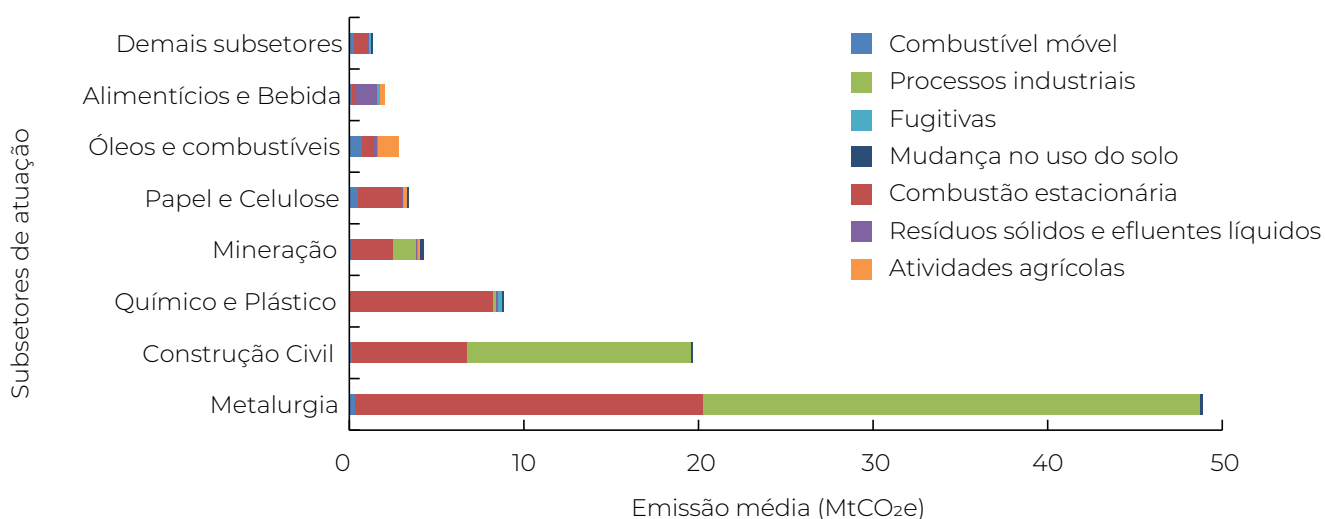
Tabela 1 - Emissões diretas de GEE de Escopo 1 por subsetor da indústria da transformação nos de 2021, 2022 e 2023, com média anual e participação percentual (MtCO₂e)

Subsetor	Quantidade de organizações	2021 (MtCO ₂ e)	2022 (MtCO ₂ e)	2023 (MtCO ₂ e)	Média (MtCO ₂ e)	Participação Média (%)
Metalurgia	9	47,51	45,20	53,67	48,79 ± 4,38	53,03%
Construção Civil	3	20,38	19,47	18,92	19,59 ± 0,74	21,73%
Químico e Plástico	7	8,89	8,96	8,19	8,68 ± 0,43	9,93%
Mineração	6	3,67	4,32	4,60	4,19 ± 0,47	4,82%

Papel e Celulose	4	3,28	3,33	3,34	3,32 ± 0,03	3,72%
Óleos e combustíveis	11	2,41	2,79	3,20	2,80 ± 0,40	3,11%
Alimentícios e Bebida	9	2,32	2,02	1,87	2,07 ± 0,23	2,25%
Embalagens	5	0,92	0,90	0,84	0,89 ± 0,04	1,01%
Automotivo	8	0,17	0,14	0,14	0,15 ± 0,02	0,16%
Roupas e Calçados	7	0,12	0,10	0,09	0,10 ± 0,01	0,11%
Eletroeletrônico	8	0,07	0,07	0,09	0,08 ± 0,01	0,08%
Saúde e Beleza	6	0,04	0,05	0,04	0,04 ± 0,004	0,04%
Serviços gráficos	3	0,01	0,01	0,01	0,01 ± 0,001	0,01%
Agronegócio	2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01%

Fonte: Adaptado do Registro Público de Emissões (2024).

Figura 3 - Participação média dos subsetores da indústria da transformação nas emissões de escopo 1, por categoria de fonte emissora (2021–2023)



Fonte: Adaptado do Registro Público de Emissões (2024).

3.3. Principais Empresas Emissoras

Além disso, 10 organizações concentram 90,85% das emissões totais (Tabela 2), o que permite direcionar ações de mitigação com maior efetividade. A Figura 4 e Figura 5 detalham a distribuição média das emissões por categoria nessas empresas, evidenciando a predominância de processos industriais e combustão estacionária.

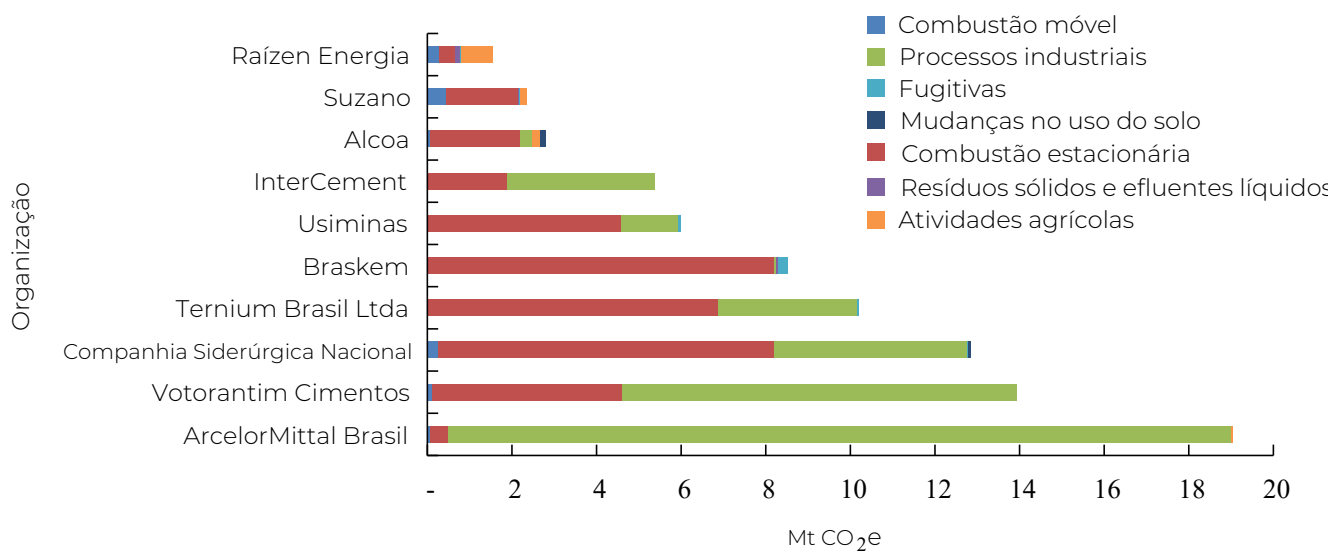
Tabela 2 - Emissões de GEE de Escopo 1 das 10 organizações da indústria da transformação com maior média anual nos anos de 2021, 2022 e 2023, incluindo desvio padrão e variação percentual

Nº	Empresas	Subsetor	2021 MtCO ₂ e	2022 MtCO ₂ e	2023 MtCO ₂ e	Média	Variação 2021/2023
1	ArcelorMittal Brasil	Metalurgia	17,16	16,82	23,04	19,01 ± 3,50	25,52%
2	Votorantim Cimentos	Construção Civil	14,56	13,88	13,38	13,94 ± 0,59	-8,82%
3	Companhia Siderúrgica Nacional	Metalurgia	12,03	11,67	14,67	12,79 ± 1,64	18,00%
4	Ternium Brasil Ltda	Metalurgia	10,36	9,98	10,17	10,17 ± 0,19	-1,87%
5	Braskem	Químico e Plástico	8,74	8,80	8,02	8,52 ± 0,44	-8,98%
6	Usiminas	Metalurgia	7,06	5,88	4,87	5,93 ± 1,09	-44,97%
7	InterCement	Construção Civil	5,49	5,30	5,32	5,37 ± 0,11	-3,20%
8	Alcoa	Mineração	2,39	2,83	3,13	2,78 ± 0,37	23,64%
9	Suzano	Papel e Celulose	2,31	2,35	2,39	2,35 ± 0,04	3,35%
10	Raízen Energia	Óleos e Combustíveis	1,18	1,55	1,91	1,55 ± 0,37	0,37%

Fonte: Adaptado do Registro Público de Emissões (2024).

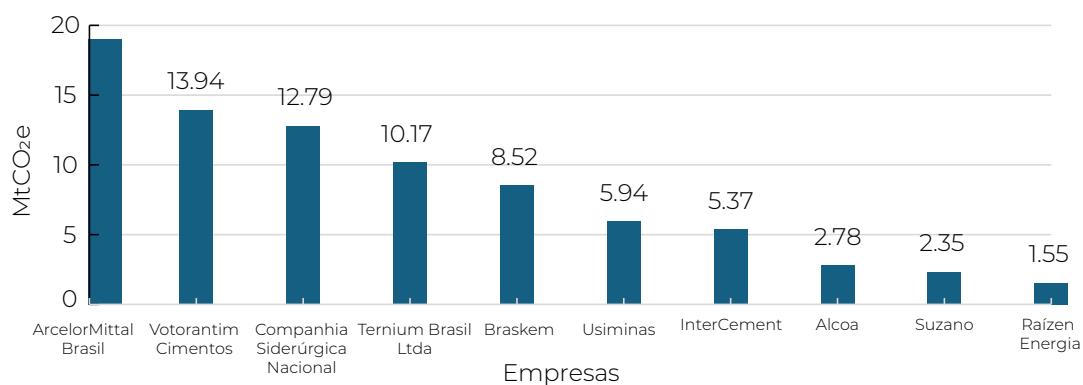
Figura 4 – Distribuição média das emissões de escopo 1 por categoria nas 10 organizações com maior emissão da indústria da transformação

Média das 10 organizações com maior emissão por categorias do escopo 1 em 2021 a 2023



Fonte: Adaptado do Registro Público de Emissões (2024).

Figura 5 - Emissões médias das 10 maiores empresas da indústria da transformação (2021–2023).



Fonte: Adaptado do Registro Público de Emissões (2024).

3.4. Projetos de Compensação

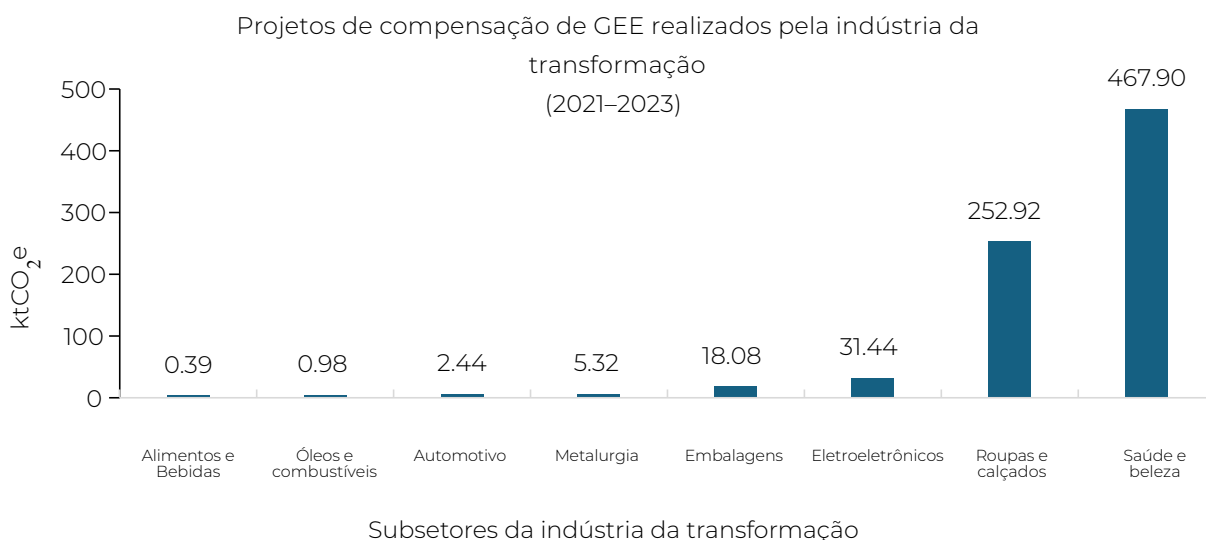
Apesar da relevância dessas empresas, nenhuma relatou projetos de compensação nos inventários analisados. Apenas 13 das 88 organizações informaram iniciativas, totalizando 0,779 MtCO_{2e}, menos de 1% das emissões médias do setor. A Tabela 3 apresenta os dados detalhados, e a Figura 6 mostra a distribuição dessas compensações por subsetor.

Tabela 3 - Projetos de compensação de GEE realizados pela indústria da transformação entre 2021, 2022 e 2023, por subsetor e quantidade total compensada

Subcategoria	Organizações	Quantidade compensada (ktCO _{2e})
Alimentícios	1	0,387
Óleos e combustíveis	2	0,976
Automotivo	1	2,441
Metalurgia	1	5,316
Embalagens	2	18,080
Eletroeletrônico	3	31,439
Roupas e Calçados	1	252,916
Saúde e Beleza	2	467,899
	Total (ktCO_{2e})	779,453
	Total (MtCO_{2e})	0,779

Fonte: Adaptado do Registro Público de Emissões (2024).

Figura 6 – Distribuição das compensações de GEE por subsetor da indústria da transformação (2021–2023)

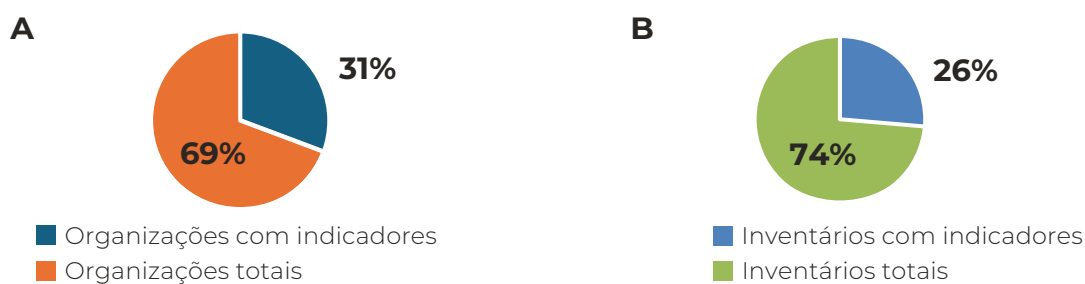


Fonte: Elaborado pelo autor, com base no Registro Público de Emissões (2024).

3.5. Projetos de Compensação

A adoção de indicadores de descarbonização também é limitada: 39 organizações apresentaram algum tipo de métrica, e apenas 95 dos 264 inventários incluíram indicadores (Figura 7). A Tabela 4 detalha os principais indicadores utilizados, com destaque para aqueles relacionados à produção física, essenciais para monitorar intensidade de emissões.

Figura 7 - Organizações com indicadores de descarbonização (A) e inventários com indicadores de descarbonização (B) (2021-2023)



Fonte: Adaptado do Registro Público de Emissões (2024).

Tabela 4 - Indicadores de descarbonização reportados nos inventários de GEE das organizações da indústria da transformação, organizados por subsetor e tipo de métrica utilizada

Subsetor	Indicador de Descarbonização
Agronegócio	tCO _{2e} / tonelada produzida
Alimentícios e Bebida	tCO _{2e} / tonelada de produto acabado tCO _{2e} / cabeça abatida gCO _{2e} / litro de bebida tCO _{2e} / tonelada gelatina produzida
Automotivo	Kg CO _{2e} / veículo KgCO _{2e} / motocicleta
Construção Civil	tCO _{2e} / tonelada cimento tCO _{2e} / peça cerâmica tCO _{2e} / kg produzido tCO _{2e} / m ³ para madeira tCO _{2e} / m ² para revestimento cerâmico
Eletroeletrônico	tCO _{2e} / valor agregado de produto tCO _{2e} / tonelada de produto acabado
Embalagens	tCO _{2e} / tonelada de produto produzido tCO _{2e} / tonelada de resina transformada
Metalurgia	tCO _{2e} / tonelada aço bruto tCO _{2e} / tonelada de produção ferro e aço tCO _{2e} / tonelada produzida MWh / economizados via implementação de projetos de eficiência energética tCO _{2e} / MWh geração de eletricidade na UTE
Mineração	tCO _{2e} / tonelada de produtos de nióbio produzidos tCO _{2e} / tonelada de alumínio líquido tCO _{2e} / produção anual de ferro gusa tCO _{2e} / número de funcionários tCO _{2e} / faturamento
Óleos e combustíveis	kgCO _{2e} / tonelada cana própria tCO _{2e} / tonelada cana processada gCO _{2e} / MJ produzida kgCO _{2e} / m ³ de biodiesel produzido tCO ₂ / L de óleo produzido CO _{2e} / colaborador tCO _{2e} / m ³ de óleo processado tCO ₂ / Faturamento

Papel e Celulose	tCO ₂ e / tonelada produzida tCO ₂ e / tonelada de papel produzido tCO ₂ e / tonelada de celulose seca ao ar tCO ₂ e / produção vendável de celulose tCO ₂ e / receita líquida
Químico e Plástico	tCO ₂ e / tonelada de produto produzido tCO ₂ e / tonelada de chumbo produzido tCO ₂ e / colaborador tCO ₂ e / Faturamento
Roupas e Calçados	tCO ₂ e / par de calçado produzido tCO ₂ e / tonelada de fio acabado tCO ₂ e / tonelada tecido kgCO ₂ e / peça produzida kgCO ₂ e / área de venda tCO ₂ e / número de lojas
Saúde e Beleza	tCO ₂ e / tonelada de produto produzida tCO ₂ e / produto faturado
Serviços gráficos	tCO ₂ e / impressão de 1 caderno de 16 páginas

Fonte: Adaptado do Registro Público de Emissões (2024).

4. Resultados, Impactos e Soluções

A construção dos cenários prospectivos para os subsetores metalurgia e construção civil, que juntos representam cerca de 75% das emissões diretas da indústria da transformação, permite avaliar o impacto potencial das estratégias de mitigação até 2030. Esses cenários foram elaborados com base em projeções populacionais, consumo per capita e taxas médias de emissão, utilizando a fórmula:

$$\text{Produção estimada} = \text{Consumo per capita} \times \text{População projetada}$$

Metalurgia

- Consumo per capita: 106 kg/hab/ano.
- População projetada: 223,5 milhões.
- Produção estimada: 23,7 milhões t aço.
- Cenário BAU: 50,7 MtCO₂e.
- Cenário Descarbonização: 42,3 MtCO₂e.
- Redução potencial: 8,4 MtCO₂e.

As Tabelas 5 e 6 apresentam as projeções para o subsetor metalurgia. A Tabela 5 compara as taxas de emissão atuais com as previstas no cenário de descarbonização para as principais empresas, enquanto a Tabela 6 consolida produção estimada e emissões totais, evidenciando o impacto agregado das estratégias propostas.

Tabela 5 - Cenários de emissão de GEE de 2023 e 2030 da subcategoria da metalurgia

Empresa	Taxa de emissão 2023 Cenário BAU	Taxa de emissão 2030 Cenário de Descarbonização
	(tCO ₂ e / t aço)	(tCO ₂ e / t aço)
Companhia Siderúrgica Nacional	2,07	1,89
Ternium Brasil Ltda	2,44	1,80
Usiminas	2,32	1,91
ArcelorMittal Brasil	1,73	1,54
Média	2,14	1,79

Fonte: Adaptado do Registro Público de Emissões (2024).

Tabela 6 - Projeções de produção e de emissão de GEE da subcategoria metalurgia

Cenário	Consumo per capita (t /hab)	População Estimada (milhões)	Produção estimada (Mt)	Taxa média de emissão (tCO ₂ e/t aço)	Emissão total estimada (MtCO ₂ e)	Redução potencial (MtCO ₂ e)
Cenário BAU (2023)	0,106	223,5	23,7	2,14	50,7	-
Cenário de Descarbonização (2030)	0,106	223,5	23,7	1,79	42,3	8,4

Fonte: Adaptado do Registro Público de Emissões (2024).

A redução de 16,6% nas emissões indica que as metas corporativas e tecnologias previstas (como uso de hidrogênio verde, aumento da sucata metálica e eletrificação parcial) podem gerar ganhos expressivos. No entanto, a dependência de processos térmicos intensivos em carbono ainda é um desafio. A adoção de tecnologias disruptivas,

como captura e armazenamento de carbono (CCS), será determinante para atingir metas mais ambiciosas.

Construção Civil

- Consumo per capita: 290 kg/hab/ano.
- Produção estimada: 64,8 milhões t cimento.
- Cenário BAU: 38,4 MtCO₂e.
- Cenário Descarbonização: 31,6 MtCO₂e.
- Redução potencial: 6,8 MtCO₂e.

As Tabelas 7 e 8 apresentam as projeções para o subsetor construção civil. A Tabela 7 compara as taxas de emissão atuais com as previstas no cenário de descarbonização, enquanto a Tabela 8 consolida produção estimada e emissões totais, destacando o potencial de redução até 2030.

Tabela 7 - Cenários de emissão de GEE de 2023 e 2030
da subcategoria da construção civil

Empresa	Taxa de emissão 2023 Cenário BAU	Taxa de emissão 2030 Cenário de Descarbonização
	(tCO ₂ e / t cimento)	(tCO ₂ e / t cimento)
InterCement	0,63	0,50
Votorantim Cimentos	0,56	0,48
Média	0,59	0,49

Fonte: Adaptado do Registro Público de Emissões (2024).

Tabela 8 - Projeções de produção e de emissão de GEE da subcategoria da construção civil

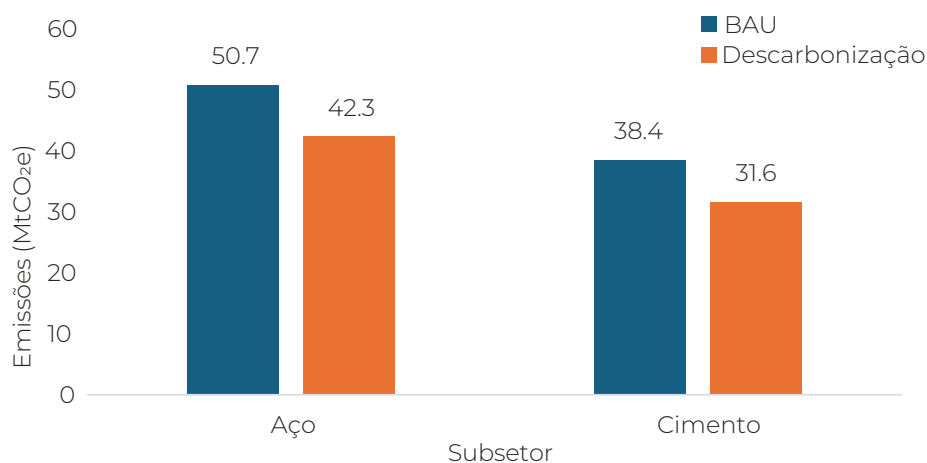
Cenário	Consumo per capita (t /hab)	População Estimada (milhões)	Produção estimada (Mt)	Taxa média de emissão (tCO ₂ e/t aço)	Emissão total estimada (MtCO ₂ e)	Redução potencial (MtCO ₂ e)
Cenário BAU (2023)	0,29	223,5	64,8	0,59	38,4	-
Cenário de Descarbonização (2030)	0,29	223,5	64,8	0,49	31,6	6,8

Fonte: Adaptado do Registro Público de Emissões (2024).

A redução de 17,7% reforça o papel do coprocessamento de resíduos e da redução do fator clínquer como estratégias-chave. A substituição térmica por biomassa e combustíveis alternativos já apresenta resultados positivos, mas será necessário ampliar a escala dessas práticas e investir em tecnologias emergentes, como cura com CO₂ e concretos de baixo carbono.

A Figura 8 apresenta um gráfico de barras comparando as emissões projetadas para os subsetores de metalurgia e construção civil nos cenários BAU (Business as Usual) e Descarbonização até 2030.

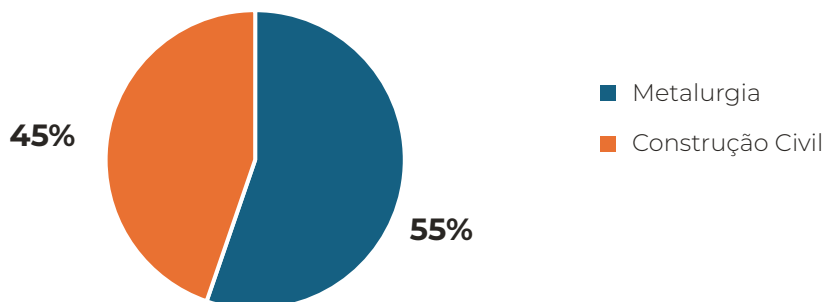
Figura 8 – Comparativo de Emissões de GEE: Cenários BAU e Descarbonização para os subsetores de aço e cimento



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 9 ilustra a participação relativa da redução total estimada de emissões (15,2 MtCO₂e) entre os subsetores metalurgia (55%) e construção civil (45%).

Figura 9 – Distribuição da redução potencial de emissões por subsetor (2030)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os cenários projetados evidenciam um potencial de mitigação significativo, com redução total estimada de 15,2 MtCO₂e até 2030, reforçando a contribuição estratégica da indústria da transformação para as metas nacionais de descarbonização. Esse impacto, porém, contrasta com lacunas críticas: nenhuma das dez maiores emissoras reportou projetos de compensação, apenas 44% das organizações possuem indicadores de descarbonização e muitas empresas ainda não definiram metas para 2035.

Esses desafios indicam que, além da adoção de tecnologias limpas, será necessário fortalecer a governança climática corporativa, padronizar métricas e ampliar mecanismos de incentivo. A integração entre inovação tecnológica, políticas públicas e engajamento empresarial é essencial para viabilizar a transição para uma indústria de baixo carbono, garantindo competitividade e alinhamento às diretrizes do Plano Clima e da NDC brasileira.

5. Conclusões e Recomendações

Os resultados apresentados neste Relatório Técnico Conclusivo evidenciam a relevância estratégica da indústria da transformação brasileira na agenda de descarbonização nacional. A análise revelou que as emissões de Escopo 1 estão fortemente concentradas nos subsetores de metalurgia e construção civil, que juntos representam 75% das emissões do setor, com predominância das categorias de processos industriais e combustão

estacionária, responsáveis por mais de 90% das emissões.

A construção de cenários prospectivos até 2030 para os dois principais subsetores demonstrou um potencial de mitigação de 15,2 MtCO₂e, sendo 8,4 MtCO₂e na produção de aço e 6,8 MtCO₂e na produção de cimento. Esses dados estão sintetizados na Tabela 9 – Projeção de emissões e redução potencial nos cenários BAU e Descarbonização (2030), que reforça a magnitude das oportunidades de mitigação.

Tabela 9 – Projeção de emissões e redução potencial nos cenários BAU e Descarbonização (2030)

Subsetor	Cenário BAU (MtCO ₂ e)	Cenário Descarbonização (MtCO ₂ e)	Redução Potencial (MtCO ₂ e)
Metalurgia	50,7	42,3	8,4
Construção Civil	38,4	31,6	6,8

Fonte: Elaborado pelo autor.

Entretanto, persistem barreiras críticas à descarbonização do setor. A baixa adesão a indicadores de desempenho ambiental (apenas 44% das organizações reportaram métricas) e a escassez de projetos de compensação (menos de 15% das empresas adotaram iniciativas) comprometem a efetividade das estratégias de mitigação. A ausência de metas claras e padronização de indicadores dificulta o monitoramento e a comparabilidade entre empresas e subsetores, além de limitar o alinhamento com as exigências regulatórias e de mercado.

A atuação do Estado é fundamental para superar esses desafios. A formulação de políticas públicas estruturadas, com foco em regulação ambiental, incentivos fiscais à inovação verde e implementação de um mercado regulado de carbono, é essencial para viabilizar a transição para uma economia de baixo carbono. Para o setor produtivo, recomenda-se a adoção de indicadores padronizados, definição de metas claras e investimentos em tecnologias limpas e mecanismos de compensação.

A descarbonização industrial deve ser encarada como uma oportunidade de inovação, competitividade e fortalecimento da reputação institucional, alinhando o setor às diretrizes do Plano Clima, da NDC brasileira e aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Este relatório oferece subsídios práticos para a tomada de decisão no setor produtivo e no governo, contribuindo para o avanço da governança climática e para o reposicionamento estratégico da indústria brasileira frente aos desafios das mudanças climáticas.

6. Referências

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Descarbonização da indústria de base**. Rio de Janeiro: BNDES, 2023. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/25847/1/PRLiv_216288_Descarboniza%3%a7%3%a3o%20da%20ind%3%bacteria%20de%20base.pdf. Acesso em: 8 set. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC). **Plano setorial de mitigação e adaptação à mudança do clima para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na indústria de transformação (Plano Indústria)**. Brasília, 2013. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/images/arquivo/80076/Industria.pdf>. Acesso em 05 fev. 2024.

BRASIL. Ministério das Relações Exteriores (MRE). **Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada para consecução do objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. 2015. Disponível em: http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf . Acesso em 04 fev. 2024.

BRASIL. Ministério de Ciências, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil**. 4ª ed. Brasília, 2017. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/estimativas-anuais-d-e-emissoes-gee/arquivos/estimativas_4ed.pdf. Acesso em: 16 fev. 2025.

BRASIL. Lei nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024. **Institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE)**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/L15042.htm. Acesso em: 08 fev. 2025.

FGV. Fundação Getúlio Vargas. Escola de Administração de Empresas de São Paulo. Centro de Estudos em Sustentabilidade (GVces). **Registro Público de Emissões**. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://registropublicodeemissoes.fgv.br> . Acesso em 04 fev. 2024.

GHG PROTOCOL: Programa Brasileiro GHG Protocol. **Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol. Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. 2ª Edição, 2017. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/c7c1073a-44dc-489b-8c3c-da456d740592/content>. Acesso em: 28 mar. 2024.

GUEVARA, Arnaldo José de Hoyos. **ESG PRINCIPLES, CHALLENGES AND OPPORTUNITIES. RISUS** - Journal on Innovation and Sustainability, vol. 13, nº 4, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.23925/2179-3565.2022v13i4p18-31>. Acesso em 07 jun. 2024.



INSTITUTO FEDERAL
Alagoas

Campus
Marechal Deodoro