

Perspectiva socioeconômica do setor **industrial** na transição energética

 **FGV CLIMA**



Equipe de pesquisa

Coordenação Geral

Amanda Schutze

Autores (em ordem alfabética)

Amanda Schutze

Ana Acris

João Mourão

Leon Labre

Ludyson Ramon Lira de Abreu

Rhayana Holz

Estratégia de comunicação:

Lara Portocarrero Campista

Sobre o FGV Clima

O FGV Clima é o Centro de Estudos em Economia do Clima da Escola de Economia de São Paulo (FGV EESP) da Fundação Getulio Vargas. Nossa missão é aplicar os fundamentos teóricos e o rigor metodológico da economia para fortalecer a ação climática brasileira baseada em evidências e impulsionar o desenvolvimento socioeconômico do país de forma sustentável e justa.

Palavras-chave:

Transição energética - Setor industrial - Emissões industriais de GEE - Metalurgia e cimento - Descarbonização industrial - Matriz energética industrial

Citação sugerida:

FGV Clima. Perspectiva socioeconômica do setor industrial na transição energética. São Paulo, SP: FGV Clima, 2025. 41p.

Informações gerais

Data de publicação: 2026

Financiamento: Instituto Clima e Sociedade (iCs). Nossos parceiros e financiadores não necessariamente compartilham das posições expressas nesta publicação.

Índice

Introdução	5
O setor industrial na transição energética	7
Setor Metalúrgico	10
Setor de Cimento	12
A produção nacional dos setores de metalurgia e cimento	16
Setor Metalúrgico	18
Setor de Cimento	20
Comércio internacional	25
Mercado de trabalho	27
Conclusão	31
Referências	32

Figuras

Figura 1: Emissões brutas totais da indústria de transformação brasileira, 2000-2024	7
Figura 2: Participação de cada subsetor no consumo energético e nas emissões energéticas brutas da indústria no Brasil, 2024	8
Figura 3: Matriz energética dos subsetores industriais no Brasil, 2024	9
Figura 4: Distribuição das emissões brutas de processos industriais por atividade no Brasil, 2024	9
Figura 5: Evolução temporal das emissões brutas de processos industriais e consumo energético dos subsetores de metalurgia de metais ferrosos e não ferrosos, 2000-2024	10
Figura 6: Resumo do processo de produção do cimento	13
Figura 7: Evolução temporal do valor adicionado e das emissões brutas (energéticas e de processo) do setor cimenteiro, 2000-2023	14
Figura 8: Participação dos setores de metalurgia e cimento no VAB da indústria de transformação, 2000-2023	17
Figura 9: VAB da metalurgia dos metais ferrosos e não ferrosos no Brasil, 2006 - 2023	19
Figura 10: Distribuição geográfica das empresas do setor metalúrgico no Brasil, 2023	20
Figura 11: Fábricas de cimento por grupo industrial no Brasil, 2023	22
Figura 12: Produção e consumo de cimento no Brasil, 2003-2024	23
Figura 13: Produção e consumo de cimento nos estados brasileiros, 2024	24
Figura 14: Participação da indústria de transformação nas exportações brasileiras, 2000-2024	25
Figura 15: Evolução anual do valor das exportações e importações dos produtos da metalurgia, 2000 - 2024 (bilhões de USD FOB)	26
Figura 16: Principais destinos e origens do comércio exterior do setor metalúrgico em 2024	26
Figura 17: Empregos por VAB por setor, 2024	28
Figura 18: Proporção da massa salarial dos setores de cimento e metalurgia por estado, 2024	29
Figura 19: Quinze municípios com a massa salarial mais dependente dos setores metalúrgico e cimenteiro no Brasil, 2024	30

Tabelas

Tabela 1: Consumo de combustíveis por modal no Brasil, 2024 (mil tep)	27
--	----

1. Introdução

A transição energética tem ganhado destaque crescente nas agendas econômica, ambiental e industrial ao redor do mundo. Trata-se de um processo estrutural que visa substituir progressivamente os combustíveis fósseis por fontes energéticas de menor intensidade de carbono, promovendo uma matriz mais limpa, resiliente e sustentável. Ao mesmo tempo, esse movimento impõe o desafio de garantir acesso universal à energia de forma segura, acessível e inclusiva, respeitando as metas climáticas internacionais e as realidades socioeconômicas de cada país.

Embora o esforço global da transição energética esteja fortemente associado à redução das emissões do setor energético — principal fonte de gases de efeito estufa (GEE) — o contexto brasileiro apresenta especificidades relevantes. A matriz energética nacional conta com uma participação expressiva de fontes renováveis, responsáveis por 49% da oferta interna de energia em 2023 (EPE, 2024b), enquanto no mundo é de cerca de 12% (IEA, 2023a). Essa característica coloca o Brasil em posição diferenciada no cenário internacional, mas não elimina os desafios da transição. Há amplo espaço para avançar na modernização do sistema energético, na ampliação da infraestrutura de baixo carbono e na redução das emissões de setores estratégicos.

Sendo assim, a transição energética no Brasil envolve um conjunto de desafios estruturais, o que inclui a coordenação entre setores, a definição de diretrizes claras e a criação de mecanismos para alinhar metas ambientais com desenvolvimento econômico. Nesse sentido, o país instituiu a Política Nacional de Transição Energética (PNTE), por meio da Resolução nº 5 de 26 de agosto de 2024, do Conselho Nacional de Política Energética - CNPE (Brasil, 2024). A PNTE tem como missão orientar os esforços nacionais rumo à descarbonização¹ da matriz energética e à neutralidade das emissões líquidas de GEE. Para isso, apoia-se em dois instrumentos principais: o Fórum Nacional de Transição Energética (Fonte) e o Plano Nacional de Transição Energética (Plante).

O Fonte atua como espaço de diálogo entre governo, setor produtivo e sociedade civil, promovendo a transparência e a participação social na formulação das políticas. Já o Plante visa estruturar ações de longo prazo para uma matriz energética mais sustentável, contribuindo para a neutralidade de emissões líquidas de GEE no país. Para isso, o Plante busca uma abordagem setorial e transversal, considerando regulamentação, investimentos, financiamento e impactos sociais, tendo como setores prioritários: (i) óleo e gás; (ii) mineração; (iii) indústria; (iv) transportes; e (v) energia elétrica (MME, 2024).

No âmbito da formulação do Plante, o Ministério de Minas e Energia (MME) firmou uma parceria técnica com o FGV Clima, centro de pesquisa aplicada da Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas. Essa colaboração deu origem

¹ Eliminação líquida das emissões de dióxido de carbono (CO₂) (Bataille et al, 2018).

ao projeto “FGV Clima no Apoio ao Plante: Insumos Técnicos e Engajamento Estratégico”, que tem como objetivo oferecer suporte técnico rigoroso e transparente por meio da produção de análises e diagnósticos para subsidiar a elaboração das ações da transição energética para o Plante.

Este relatório apresenta uma análise detalhada das características, desafios e oportunidades das indústrias brasileiras, com foco particular em metalurgia e cimento. O documento está organizado em seis partes, além desta introdução. As partes dois e três analisam, respectivamente, o papel do setor industrial na transição energética e a produção nacional dos setores de metalurgia e cimento. O restante do relatório foca nessas duas indústrias que são centrais para a transição energética no Brasil e respondem pela maior parte das emissões industriais nacionais. A parte quatro discute comércio exterior, destacando a contribuição da metalurgia para a balança comercial brasileira. Na parte cinco, é apresentado o mercado de trabalho da metalurgia e da produção de cimento, ressaltando suas particularidades e sua distribuição regional. Por fim, a última parte apresenta uma síntese dos principais pontos.

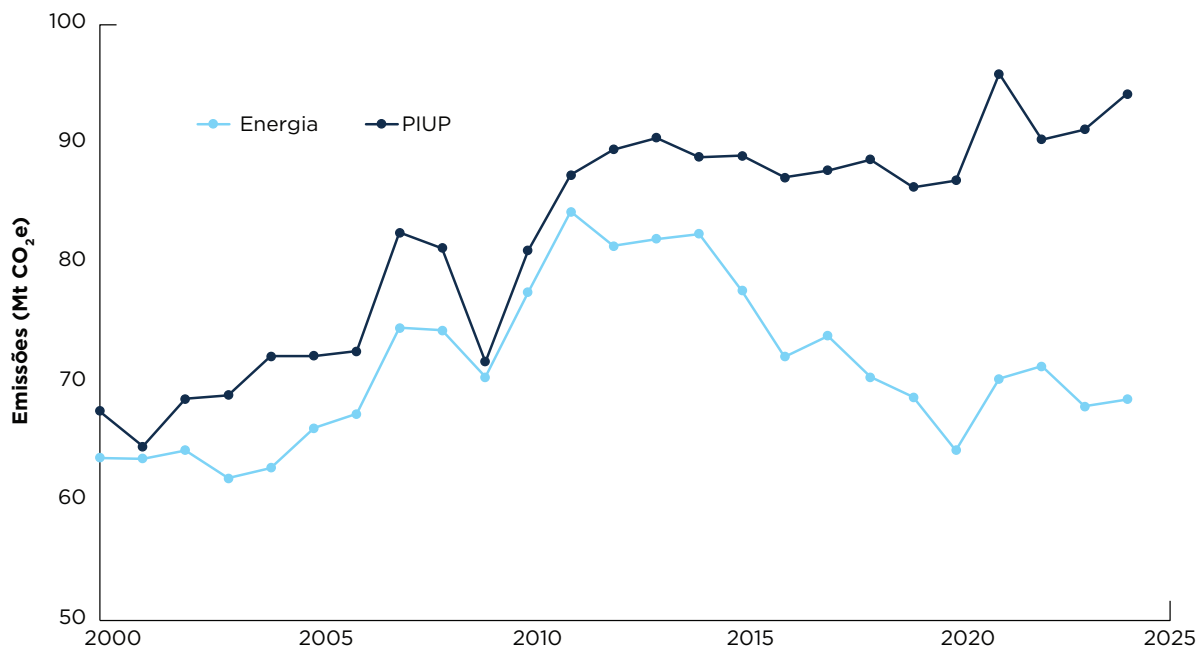
2. O setor industrial na transição energética

No Brasil, o setor industrial desempenha um papel central na economia, empregando mais de 11 milhões de pessoas e respondendo por aproximadamente um quarto do Produto Interno Bruto (PIB) (CNI, 2025). Esse percentual o coloca como o segundo maior componente da economia nacional, atrás apenas do setor de serviços (45,9%) e à frente dos setores do comércio (12,0%) e da agropecuária (6,5%) (IBGE, 2025c).

Essa relevância econômica também se traduz em impacto energético e climático: a indústria consome quase um terço da energia do país (EPE, 2025b) e responde por 14,8% das emissões brasileiras associadas ao uso de energia (SEEG, 2025). Além das emissões associadas ao consumo de energia, a indústria gera emissões diretas através das transformações físico-químicas de processos industriais. Essas emissões diretas são ainda maiores do que as geradas a partir do consumo energético e corresponderam a 4,4% das emissões brutas nacionais em 2024 (SEEG, 2025). Somadas, as emissões industriais — tanto energéticas quanto de processo — responderam por cerca de 7,5% das emissões brutas brasileiras em 2024 (SEEG, 2025). Dado esse peso, o setor industrial é elemento central para a transição energética brasileira.

A [Figura 1](#) apresenta as emissões brutas da indústria de transformação no Brasil, destacando a contribuição do consumo de energia e das emissões geradas pelos processos industriais e pelo uso de produtos (PIUP). Os PIUP são a principal fonte de gases causadores do efeito estufa na indústria, emitindo 37% a mais do que as emissões associadas ao consumo de energia em 2024 (SEEG, 2025).

Figura 1: Emissões brutas totais da indústria de transformação brasileira, 2000-2024

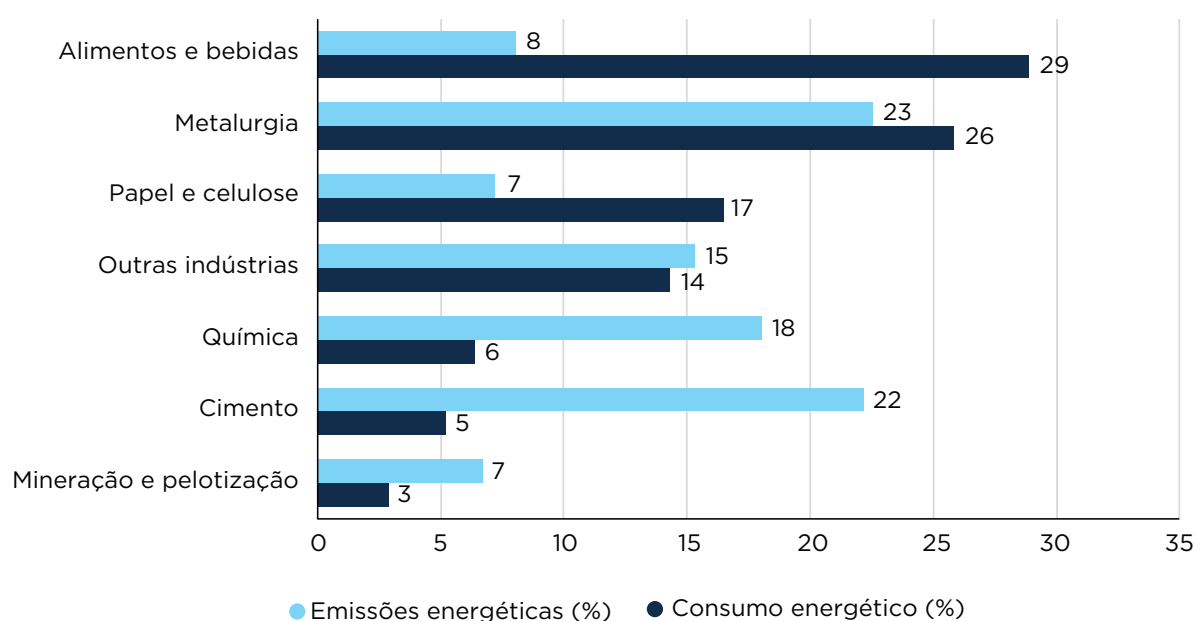


Fonte: elaboração própria com base nos dados do SEEG (2025).

Nota: PIUP tem como significado as emissões geradas pelos processos industriais e pelo uso de produtos.

A [Figura 2](#) detalha o consumo energético e as emissões decorrentes desse consumo por subsetor industrial. Em 2024, os setores de alimentos e bebidas, metalurgia e papel e celulose concentraram cerca de 71,2% do consumo energético industrial do país. As emissões energéticas, por sua vez, concentram-se nos setores de metalurgia, cimento e química, que responderam por 63% das emissões energéticas industriais no mesmo ano. Destaca-se o descompasso entre energia consumida e emissões geradas em alguns setores: enquanto alimentos e bebidas apresentam elevado consumo energético com baixa intensidade de emissões, as indústrias cimenteira e química, por outro lado, contribuem de forma desproporcional para as emissões, mesmo com participação menor no consumo energético.

Figura 2: Participação de cada subsetor no consumo energético e nas emissões energéticas brutas da indústria no Brasil, 2024



Fonte: elaboração própria com base nos dados da EPE (2025) e da SEEG (2025).

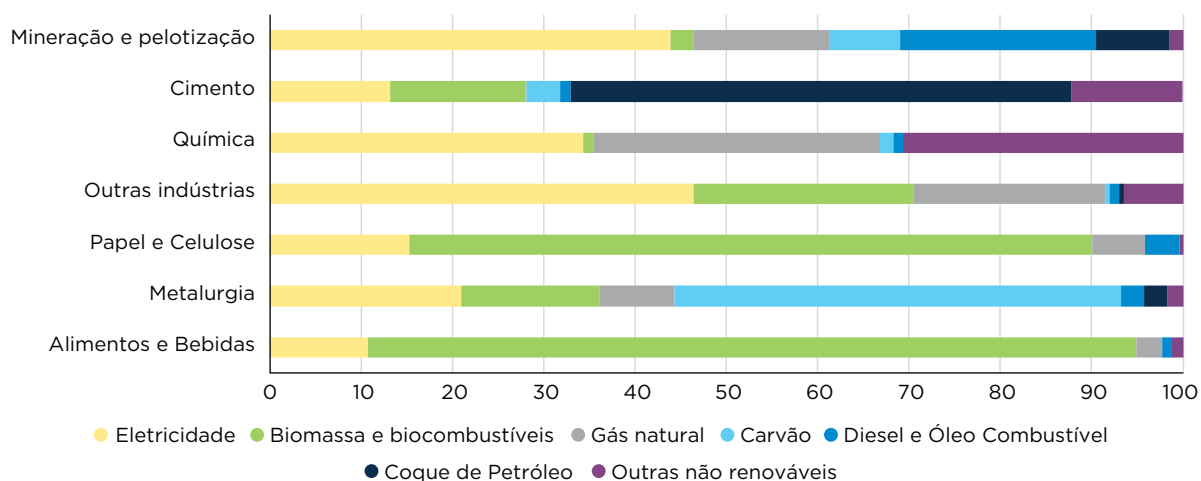
Nota: A categoria "Outras Indústrias" inclui, além da própria categoria da EPE, a indústria têxtil e de cerâmica, que representam menos de 5% do consumo energético e emissões energéticas do setor.

O aparente descompasso entre o consumo de energia e as emissões energéticas entre os subsetores industriais pode ser explicado pela fonte de energia utilizada em cada subsetor (Rissman et al., 2020; Thiel e Stark, 2021). Cada combustível possui diferentes intensidades de carbono por unidade de energia: por exemplo, o carvão e coque (mineral e de petróleo) são os mais intensivos; depois vem os derivados líquidos (diesel e óleo combustível). Já o gás natural é o menos intensivo em carbono entre os fósseis. Alternativamente, podem ser utilizadas fontes de energia mais limpas, como a eletricidade, que, no Brasil é gerada majoritariamente por meios renováveis (EPE, 2025).

A [Figura 3](#) evidencia esse mecanismo: enquanto as indústrias alimentícias e de papel e celulose utilizam principalmente biomassa como fonte de energia, o que resulta em menores emissões energéticas para um mesmo nível de consumo. As indústrias cimenteira e química dependem de combustíveis fósseis (gás natural e coque de petróleo),

o que eleva a maior intensidade de emissões. Já a metalurgia, maior emissora, tem no carvão sua principal fonte de energia.

Figura 3: Matriz energética dos subsetores industriais no Brasil, 2024

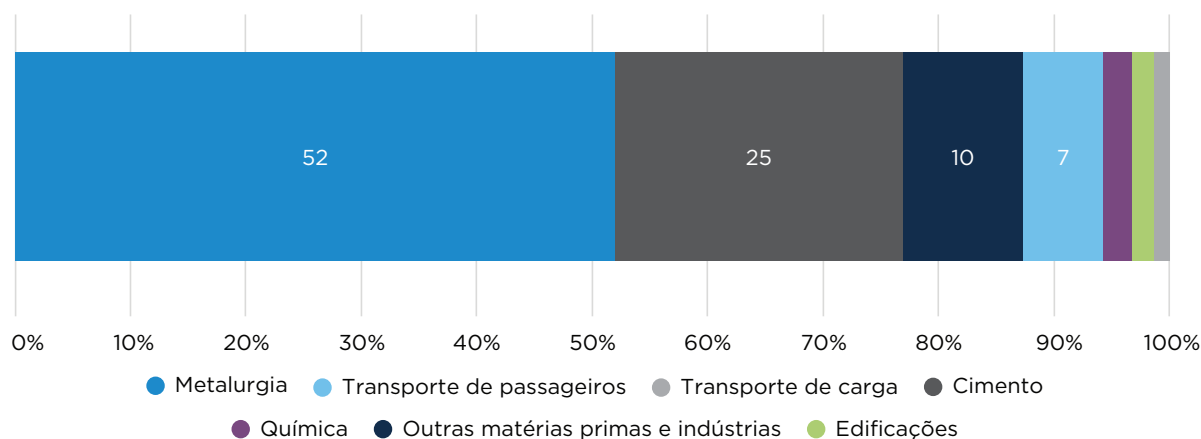


Fonte: elaboração própria com base nos dados da EPE, 2025.

Nota: a figura apresenta a matriz energética dos segmentos de metalurgia à esquerda e o de cimento à direita, considerando a energia total (primária e secundária). Foram considerados como metalurgia os subsetores de ferro-gusa e aço, metalurgia de não ferrosos e ferroligas.

A maior parte das emissões industriais, no entanto, não advém do consumo de energia. Quase 57% delas têm origem em processos industriais (SEEG, 2025). Nesse contexto, destacam-se a metalurgia e a indústria do cimento, que respondem, por cerca de metade e um quarto das emissões de processo, respectivamente² (Figura 4). Somadas as emissões de processo e as associadas ao consumo de energia, esses dois setores respondem por cerca de 63% das emissões totais da indústria brasileira. Em 2024, esses dois subsetores industriais responderam 4,8% das emissões totais do país. Dado importância da indústria de cimento e da metalurgia nas emissões totais, a partir daqui este relatório se concentrará nesses dois setores.

Figura 4: Distribuição das emissões brutas de processos industriais por atividade no Brasil, 2024



Fonte: elaboração própria com base nos dados do SEEG (2025).

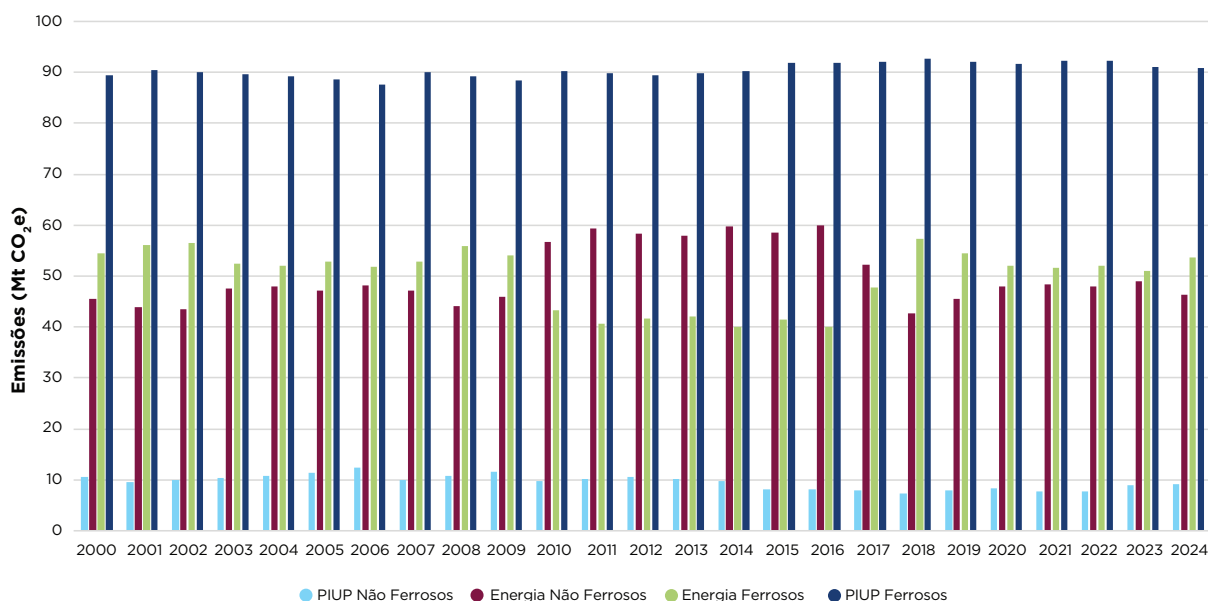
² Os processos produtivos da indústria química, por exemplo, não são tão uniformes globalmente, pois abrange milhares de produtos químicos e commodities produzidos a partir de blocos de construção de produtos, como amônia, metanol e etileno, responsáveis por cerca da metade das emissões totais desse setor (Woodall et al., 2020).

2.1 Setor Metalúrgico

A indústria metalúrgica abrange atividades voltadas à transformação de minérios em produtos metálicos. As emissões desse subsetor ocorrem tanto pelo seu consumo energético quanto pelos seus processos industriais, como consequência das transformações químicas que ocorrem na preparação das matérias-primas (IABr, 2020). A metalurgia se divide conforme a presença de ferro na produção. A metalurgia dos metais ferrosos, que inclui ferro-gusa³, ferroligas⁴ e aço, utiliza minério de ferro bruto como principal insumo. Já a metalurgia dos metais não ferrosos trabalha com minerais que contêm pouca ou nenhuma quantidade de ferro, como bauxita e minérios de cobre.

A maior parte das emissões da metalurgia é decorrente do processo produtivo da siderurgia com metais ferrosos, como ilustrado na [Figura 5](#). As suas emissões PIUP predominam ao longo de toda a série histórica, mantendo-se entre 33 e 48 milhões de toneladas (Mt) de CO₂ equivalente por ano. Um montante muito acima das parcelas ligadas ao consumo de energia e dos não ferrosos, que em geral permanecem abaixo de 10 Mt cada. Dessa forma, a metalurgia ferrosa consolida-se como o grande foco dos esforços de descarbonização da indústria.

Figura 5: Evolução temporal das emissões brutas de processos industriais e consumo energético dos subsetores de metalurgia de metais ferrosos e não ferrosos, 2000-2024



Fonte: elaboração própria com base nos dados da SEEG (2025).

Nota: a categoria “Ferrosos” engloba os setores de “Ferro-gusa e Aço” e “Ferroligas”, e a categoria “Não Ferrosos” engloba os “Não Ferrosos da Metalurgia”.

³ O ferro-gusa é um tipo de ferro fundido, produzido a partir de minério de ferro, coque e calcário em altos-fornos. É um material bruto e é usado principalmente como matéria-prima na produção de aço (Andrade et. al., 2000).

⁴ As ferroligas são ligas de ferro com um ou mais outros elementos, como silício, manganês e cromo, e são insumos indispensáveis para a indústria siderúrgica. As ferroligas à base de manganês são utilizadas na fabricação de praticamente todos os tipos de aço e ferro fundido. Já as ligas de níquel e de cromo têm como aplicação principal a fabricação de aço inoxidável (MME, 2013).

A produção do aço pode ocorrer via diferentes processos produtivos, identificados como rotas. Na rota integrada, também chamada convencional, ele é produzido a partir do minério de ferro, enquanto, na rota direta (também chamada semi-integrada), utiliza-se sucata metálica, que é reciclada em aço novo (IABr, 2020; de Paula, 2025).

Na rota integrada, ou convencional, o aço é produzido diretamente a partir do minério de ferro. Primeiro, o carvão mineral é convertido em coque, que será utilizado como combustível e agente redutor. Em seguida, o minério de ferro é introduzido no alto-forno⁵ juntamente com o coque, onde o minério é reduzido pelo carbono do coque a altas temperaturas, resultando em ferro-gusa líquido. É nessa transformação química que ocorre a principal reação que explica as altas emissões desse setor. O monóxido de carbono (CO) gerado pela queima do coque reage com o minério de ferro (Fe₂O₃) para formar ferro metálico (Fe), que compõe o ferro-gusa, e dióxido de carbono (CO₂). Esse processo pode ser descrito pela equação abaixo, ela nos diz que para cada quantidade de ferro produzida, uma quantidade equivalente de CO₂ é liberada para retirar o oxigênio do minério de ferro.



Por fim, o ferro-gusa, então, segue para o convertedor a oxigênio, onde será refinado por meio da injeção de oxigênio, que remove impurezas e produz o aço líquido. Após o refino, o aço é solidificado e segue para a etapa de transformação mecânica.

Uma alternativa à rota integrada tradicional é a redução direta, na qual a matéria prima é a sucata metálica, logo, não é necessário transformar o minério de ferro em ferro-gusa, evitando as emissões desse processo de redução. Esse processo consome menos energia e emite menos do que as rotas integradas. No entanto, a produção de aço nessas usinas depende da disponibilidade de sucata gerada a partir do consumo de aço de cada país, de modo que a demanda por aço ainda exceda a sua capacidade de oferta (IABr, 2020).

No Brasil, a rota integrada representa mais de 80% da produção total de aço (IABr, 2024; de Paula, 2025). Vale notar também que as usinas integradas apresentam uma rigidez na produção que mantém as emissões elevadas mesmo em períodos de baixa atividade⁶. Os altos fornos das usinas integradas continuam em atividade mesmo com níveis mais baixos de produção, o que significa que uma parcela de emissões é relativamente fixa (MCTI, 2020). Isso pode ser observado em episódios de retração do setor, como entre 2012 e 2016. Nesse período, a produção do setor caiu em mais de 19%, porém as emissões de processos industriais na metalurgia reduziram apenas em 1,6% (SEEG, 2025; IBGE, 2025).

⁵ O alto-forno é um equipamento de grandes dimensões utilizado para reduzir o minério de ferro em ferro-gusa líquido. O alto-forno atinge temperaturas superiores a 1 500 °C, no qual o carbono do coque reage com o oxigênio do minério, formando monóxido e dióxido de carbono e gerando ferro metálico. O produto final, o ferro-gusa, é então encaminhado ao conversor a oxigênio para se transformar em aço (IEA, 2020).

⁶ Na rota integrada, há a necessidade de manter a temperatura elevada para evitar a solidificação do coque de carvão, principal agente redutor do minério de ferro. Além disso, os custos de religamento dos fornos constituem um outro fator que diminui a flexibilidade da operação.

No contexto de transição energética, os esforços para a descarbonização do setor metalúrgico estão associados à substituição dos combustíveis fósseis e à reciclagem do aço a partir da sucata mecânica em usinas semi-integradas. Ganhos de eficiência energética e de aproveitamento do minério de ferro na rota integrada de redução direta também contribuem para reduzir a intensidade de carbono, conforme essas usinas têm maior capacidade de ajustar a produção e apresentam maior flexibilidade técnica para a descarbonização (Shahabuddin et al., 2023).

A metalurgia a hidrogênio é um dos principais avanços recentes nessa direção, tendo o potencial de reduzir as emissões tanto para a rota integrada convencional, quanto para a redução direta. No estágio atual, os processos envolvem utilizar uma mistura de gás natural (ou gás de coqueria para a rota convencional) com hidrogênio na redução direta, sendo essa parcela crescente conforme melhorias técnicas no processo. As limitações tecnológicas atuais, todavia, tornam o aproveitamento energético menos eficiente devido à menor geração de gases que são reaproveitados nos processos convencionais (Chen e Zuo, 2021). Assim, o alcance da metalurgia a hidrogênio ainda é limitado, embora os primeiros projetos estejam em construção (HYBRIT⁷ e H2 Green Steel), o hidrogênio puro ainda não é usado em escala industrial e a base instalada utiliza majoritariamente carvão como fonte energética (IEA, 2025; OECD, 2025a; Worldsteel Association, 2022).

Por último, é importante destacar que o Brasil é pioneiro na produção de aço via carvão vegetal, e atualmente cerca de 11% da produção nacional utiliza essa energia renovável em substituição ao carvão mineral. Produzido a partir da madeira extraída de florestas plantadas pelas empresas do setor (biomassa), o carvão vegetal é insumo de origem renovável. O sequestro de CO₂ durante o crescimento das árvores compensa o volume de CO₂ liberado durante o processo de produção do aço (Schimid et al., 2024). No entanto, o uso do carvão vegetal só é possível em altos fornos de menor porte e depende da disponibilidade de áreas para plantio de florestas em raio econômico para abastecimento das fábricas (IABr, 2020).

2.2 Setor de Cimento

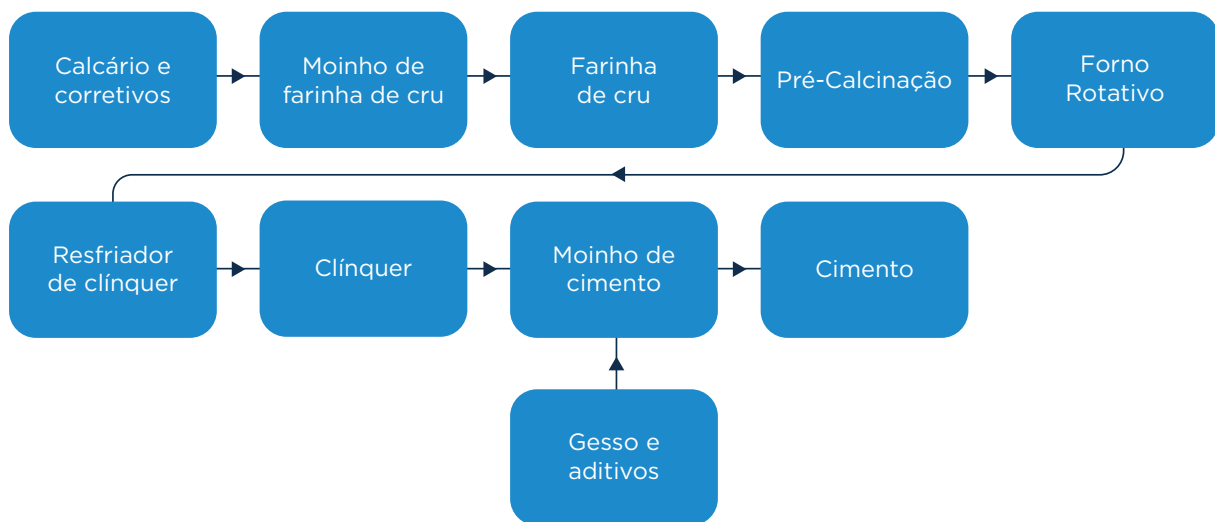
O setor de cimento abrange todo o seu ciclo de produção, que vai da extração produtos minerais⁸ até a fabricação e comercialização desse produto. Assim como na metalurgia, a maior parte das emissões do setor são oriundas dos seus processos industriais, com seu consumo de energia responde por apenas 39% do total emitido em 2024 (SEEG, 2025).

⁷ HYBRIT é uma iniciativa de empresas suecas para testar a produção de aço com hidrogênio em vez de carvão. O projeto já concluiu sua fase piloto e está avançando para uma planta de demonstração em escala comercial entre 2025 e 2030 (IEA, 2025).

⁸ As emissões da etapa de extração de matérias-primas minerais (como calcário e argila) não são contabilizadas no setor de cimento, apenas aquelas associadas à transformação das matérias-primas. (SEEG, 2024; IPCC, 2019).

A produção de cimento envolve uma sequência de etapas que transformam matérias-primas minerais em clínquer e, posteriormente, em cimento. A [Figura 6](#) resume as etapas de produção. O processo começa com a extração de calcário e argila, que são triturados, dosados em proporções específicas e homogeneizados até formarem a chamada “farinha crua”. Essa mistura segue para fornos de pré-aquecimento e pré-calcinação, onde atinge cerca de 800 °C, iniciando a reação de decomposição do calcário. Em seguida, a mistura é encaminhada ao forno rotativo, alcançando temperaturas de até 1.450 °C, onde ocorre a formação do clínquer, principal componente do cimento. Após essa etapa, o clínquer é resfriado e moído juntamente com gesso e outros aditivos, resultando no cimento Portland (Schorcht et al., 2013; IEA, 2018).

Figura 6: Resumo do processo de produção do cimento



Fonte: elaboração própria com base em Carbone et al. (2022).

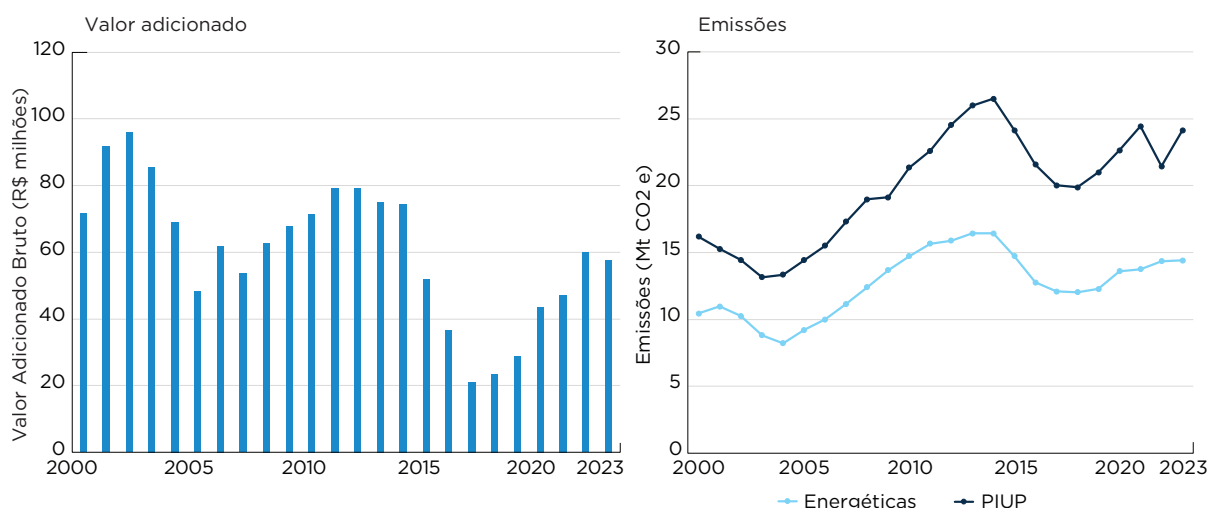
Os fornos de cimento utilizam diferentes fontes de energia para atingir as altas temperaturas necessárias para formar o clínquer. Muitos combustíveis podem ser utilizados: combustíveis fósseis, como carvão mineral, óleo combustível, coque de petróleo, gás natural e diesel; e combustíveis alternativos, como resíduos ou biomassa (Madloul et al., 2011). No entanto, dentre todos esses processos, a clinquerização (produção do clínquer) é a etapa mais intensiva em emissões de processos industriais. Isso ocorre devido à decomposição térmica do calcário (CaCO_3) nos fornos rotativos, reação em que o carbonato de cálcio se converte em óxido de cálcio (CaO), liberando dióxido de carbono (CO_2) como coproduto. Essa transformação, mostrada na fórmula abaixo, é a principal fonte das emissões de processo do setor (SEEG, 2024; Stripple et al., 2025).



Em 2024, 61% das emissões do setor de cimento foram de processos industriais consequentes da transformação das matérias-primas em clínquer, sendo os 37% restantes de emissões energéticas associadas à queima de coque para alimentar os altos fornos (SEEG, 2025).⁹

A [Figura 7](#) revela que, no setor de cimento, a produção está diretamente associada às emissões e com alta capacidade de ajuste no curto prazo. Nos anos de retração da atividade do subsetor (especialmente entre 2014 e 2017 e em 2020), observam-se quedas praticamente simultâneas tanto nas emissões de processos (PIUP) quanto nas emissões energéticas. Já na retomada (2019–2023), as duas séries voltam a subir junto com o valor adicionado pelo setor.¹⁰ Essa sensibilidade das emissões ao nível de atividade contrasta com a metalurgia, cujos processos contínuos em altos-fornos impõem menor flexibilidade de ajuste de carga no curto prazo, tornando as emissões relativamente menos sensíveis às variações de produção (IEA, 2024).

Figura 7: Evolução temporal do valor adicionado e das emissões brutas (energéticas e de processo) do setor cimenteiro, 2000-2023



Fonte: elaboração própria com base nos dados da SEEG (2025) e IBGE (2025).

No contexto de transição para uma economia de baixo carbono, as iniciativas do setor cimenteiro abrangem tanto a redução das emissões energéticas quanto de processos industriais. Como estratégia para reduzir as emissões energéticas o setor tem avançado principalmente na substituição do coque de petróleo por combustíveis alternativos de menor fator de emissão. Nessa direção, ganham destaque o coprocessamento e o uso de matéria orgânica, que reduzem emissões e permitem aproveitar energeticamente resíduos. O parque industrial brasileiro, de modo geral, é moderno: opera com processos mais eficientes no uso de energia e matérias-primas e incorpora tecnologias

⁹ O consumo energético da moagem final não requer consumo de combustíveis fósseis por ser um processo com maior grau de eletrificação, o que não gera emissões diretas (IEA, 2024).

¹⁰ O valor adicionado bruto (VAB) é utilizado como indicador da atividade econômica do setor. Ele expressa quanto cada setor efetivamente contribui para a economia ao considerar apenas o valor gerado no processo produtivo, após a dedução dos insumos intermediários. Por essa razão, o VAB é amplamente utilizado para mensurar a participação dos diferentes setores na formação do Produto Interno Bruto (PIB) e para avaliar, ao longo do tempo, a importância econômica de cadeias produtivas específicas (IBGE, 2008).

de maior desempenho energético, como moagem elétrica e sistemas de resfriamento aprimorados (EPE, 2024a). Como resultado, em 2023, as fontes renováveis alcançaram 19% do consumo energético total do setor (EPE, 2024a).

As emissões PIUP, no entanto, são mais difíceis de reduzir, visto que dependem da redução no uso do clínquer, que é o principal componente do cimento. Em linhas gerais, o setor explora duas alternativas: a substituição parcial do clínquer por materiais suplementares (como cinzas volantes e escória) e a implementação de tecnologias de captura de carbono. Essas iniciativas contribuem para o abatimento das emissões do setor, porém aumentam os custos de produção de maneira significativa, constituindo uma barreira econômica no curto prazo (IEA, 2024).

Diante da relevância estratégica dos setores de metalurgia e cimento para os esforços de descarbonização industrial, é fundamental compreender não apenas os perfis energéticos e de emissões, mas também a dinâmica da produção nacional. A análise da estrutura produtiva desses segmentos permite identificar oportunidades e desafios para a redução de emissões, bem como avaliar o potencial de adoção de tecnologias mais sustentáveis no contexto brasileiro. A próxima seção contextualiza a participação desses dois setores na produção industrial brasileira.

3. A produção nacional dos setores de metalurgia e cimento

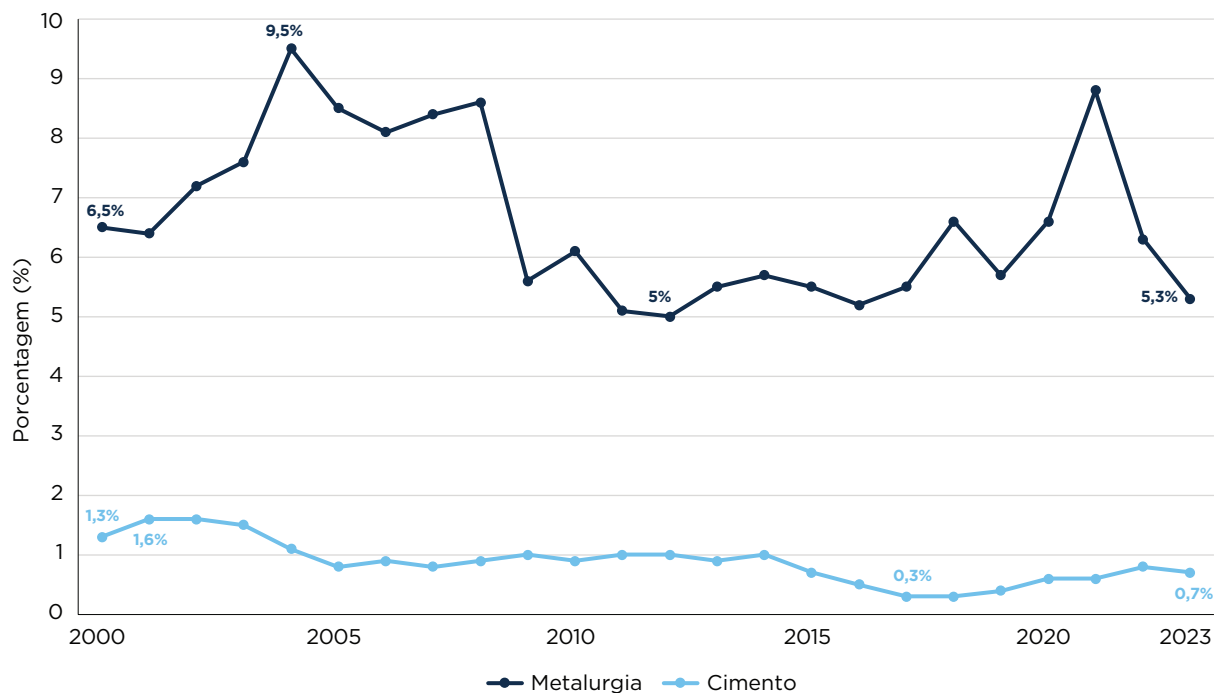
As indústrias de metalurgia e cimento são fortemente demandadas pela construção civil¹¹ que não deve arrefecer nas próximas décadas, especialmente em países em desenvolvimento¹² (Pacheco-Torgal et al., 2014). Trata-se de uma expectativa alinhada com as necessidades geradas pelo crescimento populacional, que amplia a necessidade de edifícios, residenciais e não residenciais, e de infraestrutura pública (EMIA, 2023).

A relevância desses setores também se reflete na contribuição ao valor adicionado Bruto (VAB) da indústria brasileira. O VAB é um indicador econômico que mede quanto cada setor adiciona ao produto final, descontando os insumos intermediários utilizados no processo produtivo. Assim, o VAB representa a contribuição efetiva de um setor para o Produto Interno Bruto (PIB) nacional, sendo um bom instrumento para analisar a relevância econômica de cadeias produtivas específicas ao longo do tempo (IBGE, 2008).

A [Figura 8](#) apresenta a participação anual dos setores de metalurgia e cimento no VAB da indústria de transformação entre os anos de 2000 e 2023. Os dados revelam que, a metalurgia exerce maior peso relativo na estrutura produtiva industrial, variando entre 5% e 9,5% do VAB ao longo do período. É possível observar um pico em 2004, quando o setor representou 9,5% do VAB da indústria de transformação, refletindo uma fase de forte crescimento da demanda por aço, justificada por investimentos em infraestrutura e expansão da construção civil (IBGE, 2005).

¹¹ Em 2024, o setor de construção civil passou por uma recuperação significativa, registrando um avanço de 4,3% após a queda de 0,5% observada na composição do PIB do setor industrial em 2023. No caso da construção civil, o IBGE atribuiu o resultado ao crescimento da ocupação na atividade, da produção de insumos típicos e da expansão do crédito (IBGE, 2024). Isso impactou diretamente cadeias ligadas à metalurgia e à produção de cimento, já que grande parte da receita industrial em 2023 foi destinada a materiais de construção, com destaque para a produção de cimento, que atingiu 39,5 milhões de toneladas métricas apenas nos sete primeiros meses daquele ano (SNIC, 2025).

¹² Isso é particularmente relevante para o Brasil, que possui um amplo cronograma de obras de infraestrutura a serem implementadas nos próximos anos como parte do programa Novo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), que investirá 1,3 trilhões de reais em obras até 2026 (Brasil, 2023).

Figura 8: Participação dos setores de metalurgia e cimento no VAB da indústria de transformação, 2000–2023

Fonte: elaboração própria com base nos dados da PIA (2025)..

Nota: Ambos os setores identificados a partir dos códigos CNAE das empresas. O “cimento” é associado ao código 23.2 e a “metalurgia” ao 24. Valores (em reais) ajustados com base no ano de 2022. Os valores foram deflacionados utilizando o Índice de Preços do Atacado (IPA) (Índice dezembro/2023 =100).

Mais recentemente, observa-se um pico em 2021 (8,8%) no setor de metalurgia, seguido de uma forte queda em 2022 (6,3%) e nova redução em 2023 (5,3%). Já o setor de cimento apresenta valores mais estáveis, variando pouco ao longo do período. Embora a pandemia de COVID-19 tenha reduzido o PIB de 2019 para 2020 em quase 5% (Banco Mundial, 2021), as indústrias de aço e cimento não apresentaram retração¹³.

O pico observado em 2021 no setor de metalurgia é explicado principalmente pela recuperação pós-pandemia, quando houve retomada da produção, reposição de estoques e aumento da demanda interna e externa, além de um câmbio favorável às exportações. Outro fator decisivo foi a alta dos preços industriais, já que o Índice de Preços ao Produtor (IPP) registrou naquele ano uma elevação recorde de 28,39%, puxada por insumos como os minérios e os produtos metálicos, o que elevou o valor do setor mesmo diante de custos maiores (IBGE, 2022; Portal da Indústria, 2021; Brasil Mineral, 2022).

¹³ Em 2020, o PIB das indústrias de aço e cimento aumentou 20% (IABr, 2021) e 14% (SNIC, 2021), respectivamente, em relação a dezembro de 2019. Isso pode ser justificado pelo fato da construção civil ter sido incluída entre as atividades essenciais, que poderiam continuar operando durante o período de restrições impostas pela pandemia.

A partir de 2022, observa-se uma desaceleração da demanda doméstica em setores consumidores de aço, como a construção civil e a indústria automotiva, além do avanço das importações que reduziram as vendas internas. Em 2023, por exemplo, um relatório da Aço Brasil registrou queda de 4,4% nas vendas domésticas ao mesmo tempo em que as importações dispararam. Esse quadro se somou à deflação dos preços industriais em 2023, quando o IPP caiu 4,98%, reduzindo o valor adicionado mesmo sem grandes variações de volume (IBGE, 2023; Aço Brasil, 2023).

Embora o aço e o cimento sejam materiais essenciais para o desenvolvimento econômico e social dos países, esses setores são reconhecidos por sua importância para o consumo de energia e as emissões de CO₂. Eles são, o primeiro e o segundo maiores contribuintes industriais para a diferença entre as promessas anunciadas no Acordo de Paris e o cenário de emissões líquidas zero feito pela Agência Internacional de Energia (AEI 2024), respondendo por mais da metade da lacuna global de 3 bilhões de toneladas métricas de CO₂ em 2030. Diante disso, apresentaremos uma visão mais detalhada sobre a indústria do cimento e a indústria metalúrgica, destacando seu processo produtivo, desafios e perspectivas dentro da estrutura industrial brasileira.

3.1 Setor Metalúrgico

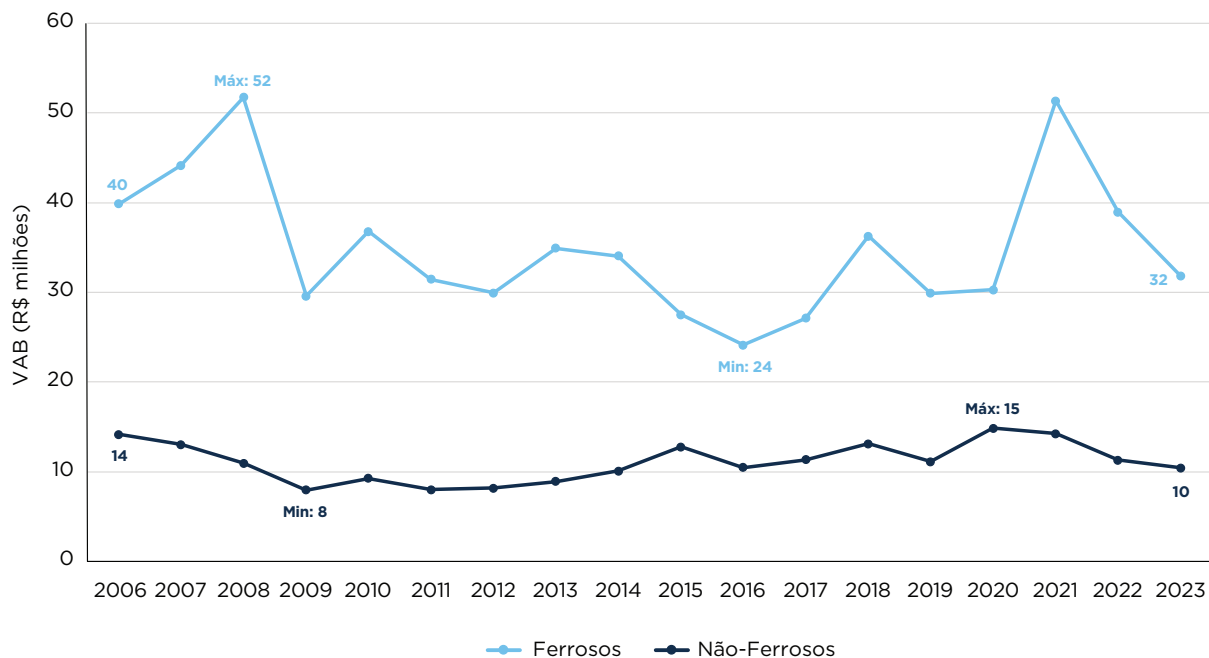
A metalurgia é um dos pilares da indústria de base, responsável pela transformação de minérios em produtos metálicos essenciais para a economia moderna, desde componentes automotivos e estruturas da construção civil até máquinas, equipamentos e bens de capital (OCDE, 2025a). No Brasil, a metalurgia ocupa posição estratégica — o país é o 9º maior produtor de aço do mundo — e sustenta cadeias industriais centrais, com destaque para a automobilística, a construção civil e a indústria de máquinas e equipamentos (MME, 2020; Instituto Aço Brasil, 2025).

A [Figura 9](#) separa o valor adicionado da metalurgia entre a produção de metais ferrosos e não ferrosos. Nela é possível observar uma maior participação do segmento de ferrosos. Nota-se também que entre 2006 e 2023, o valor adicionado dos metais ferrosos apresentou maior oscilação ao longo do período, com pico de 52 bilhões de reais em 2008 e mínima de 24 bilhões em 2016, encerrando 2023 em torno de 32 bilhões. Por outro lado, o grupo de não ferrosos, que inclui alumínio, cobre e outros metais estratégicos, manteve uma evolução mais estável, variando entre 8 e 15 bilhões de reais no mesmo intervalo, com máximo em 2020 e fechamento em cerca de 10,4 bilhões em 2023.

Embora os metais não ferrosos tenham menor participação relativa, eles apresentam maior resiliência frente às oscilações econômicas. Isso acontece porque os metais ferrosos, principalmente a siderurgia e ferro-gusa, são diretamente ligados a setores cíclicos como construção civil, infraestrutura e indústria automobilística, que são sensíveis às variações macroeconômicas. Além disso, os preços domésticos do minério de ferro, principal insumo da indústria siderúrgica, seguem a dinâmica internacional,

já que se trata de uma commodity global, o que torna os custos de produção no Brasil vulneráveis a choques externos de oferta, demanda e câmbio (Liu e Lin, 2024).

Figura 9: VAB da metalurgia dos metais ferrosos e não ferrosos no Brasil, 2006 - 2023



Fonte: elaboração própria com base nos dados da PIA de 2006 até 2023 (IBGE, 2025a).

Nota: o setor metalúrgico está classificado na divisão 24 da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (IBGE, 2025b). A divisão de Metalurgia é composta por cinco grupos: Produção de Ferro-Gusa e de Ferroligas; Siderurgia; Produção de Tubos de Aço, exceto sem costura; Metalurgia dos Metais Não Ferrosos; e Fundição. Para fins analíticos, optamos por organizar essas atividades em dois grandes blocos: ferrosos e não ferrosos. No primeiro, incluímos a produção de ferro-gusa (24.11-3), a siderurgia (24.2), a fabricação de tubos de aço (24.3), a fundição de ferro e aço (24.51-2), além da produção de ferroligas (24.12-1). Já no segundo bloco, reunimos a metalurgia dos metais não ferrosos (24.4) e a fundição de metais não ferrosos e suas ligas (24.52-1). Os valores foram deflacionados utilizando o Índice de Preços do Atacado (IPA) (Índice dezembro/2023 =100).

Da mesma forma, o carvão mineral, segundo insumo mais utilizado no setor siderúrgico, não é encontrado em quantidade suficiente no território nacional, o que leva o país a depender das importações. Em 2024, foram 17,9 milhões de toneladas de carvão mineral e 1,7 milhão de toneladas de coque de carvão mineral importadas, representaram uma das maiores correntes de importação energética brasileira nesse ano (MME, 2025). Essa dependência expõe o setor siderúrgico a variações nos preços internacionais e no câmbio¹⁴.

Por outro lado, os metais não ferrosos apresentam trajetória mais estável. A sua produção abastece cadeias produtivas mais diversificadas, como embalagens, eletrônica e insumos da transição energética. Além disso, esse comércio costuma operar com contratos de médio e longo prazo, fatores que suavizam os impactos de crises seto-

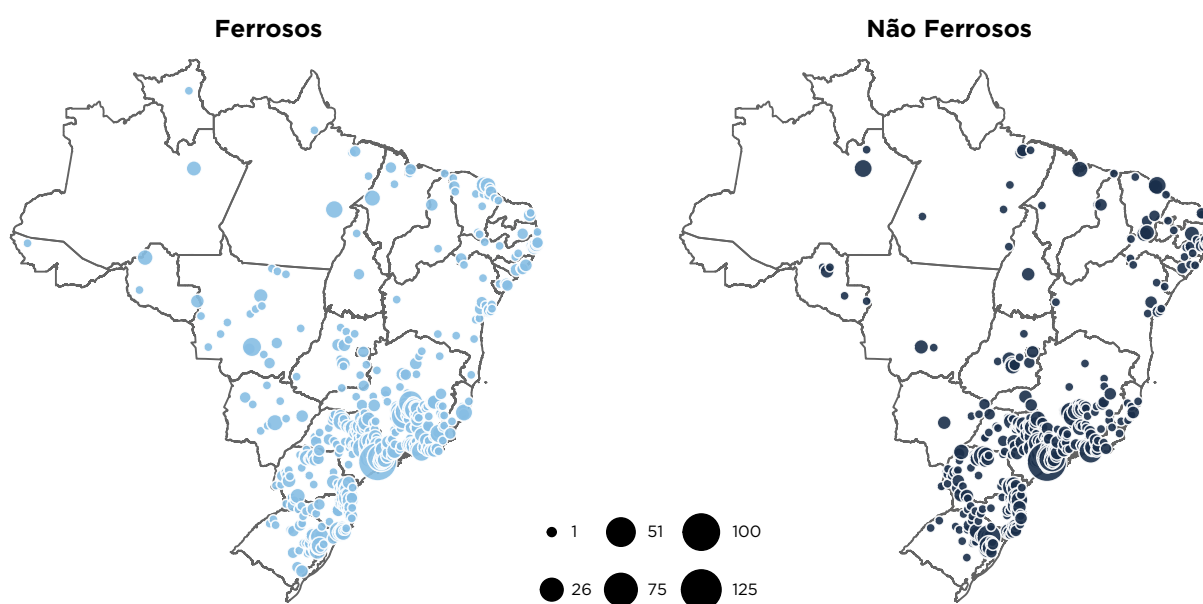
¹⁴ A dependência de carvão e coque importado se aplica apenas à siderurgia do aço e do ferro. O Brasil não produz o tipo de carvão usado para fabricar coque (carvão de alta qualidade para altos-fornos) e, por isso, precisa importar esse insumo para manter a produção de aço. Já no caso dos metais não ferrosos (como o alumínio), a produção depende principalmente de eletricidade, e não de carvão; nesse caso, o desafio está no custo e na origem da energia elétrica utilizada (hidrelétrica, renovável ou fóssil) (GEM, 2024; WSA, 2023).

riais e reduzem a exposição imediata às flutuações internacionais (Chen et al., 2022; Streck et al., 2024).

Em termos de estrutura de produção do setor, a [Figura 10](#) revela a distribuição geográfica das empresas metalúrgicas no Brasil. São consideradas todas as empresas que exercem atividades classificadas na divisão 24 da CNAE de Metalurgia, que abrange: (i) produção de ferro-gusa e ferroligas, (ii) siderurgia, (iii) fabricação de tubos de aço, exceto tubos sem costura, (iv) metalurgia dos metais não ferrosos e (v) fundição (IBGE, 2025e).

São 1566 companhias operando com a produção de metais ferrosos e outras 1410 com os não ferrosos. Ambos os segmentos são concentrados nas regiões sul e sudeste, com mais de 80% das empresas operando nelas. O estado de São Paulo concentra a maior parte das empresas de ambos os segmentos metalúrgicos — 35% das que operam com ferrosos e 44% das que trabalham com não ferrosos — seguido por Minas Gerais, responsável por 21% e 11%, respectivamente.

Figura 10: Distribuição geográfica das empresas do setor metalúrgico no Brasil, 2023



Fonte: elaboração própria com base nos dados da RAIS (2024).

Nota: neste mapa, o tamanho das bolhas representa a quantidade de empresas no município.

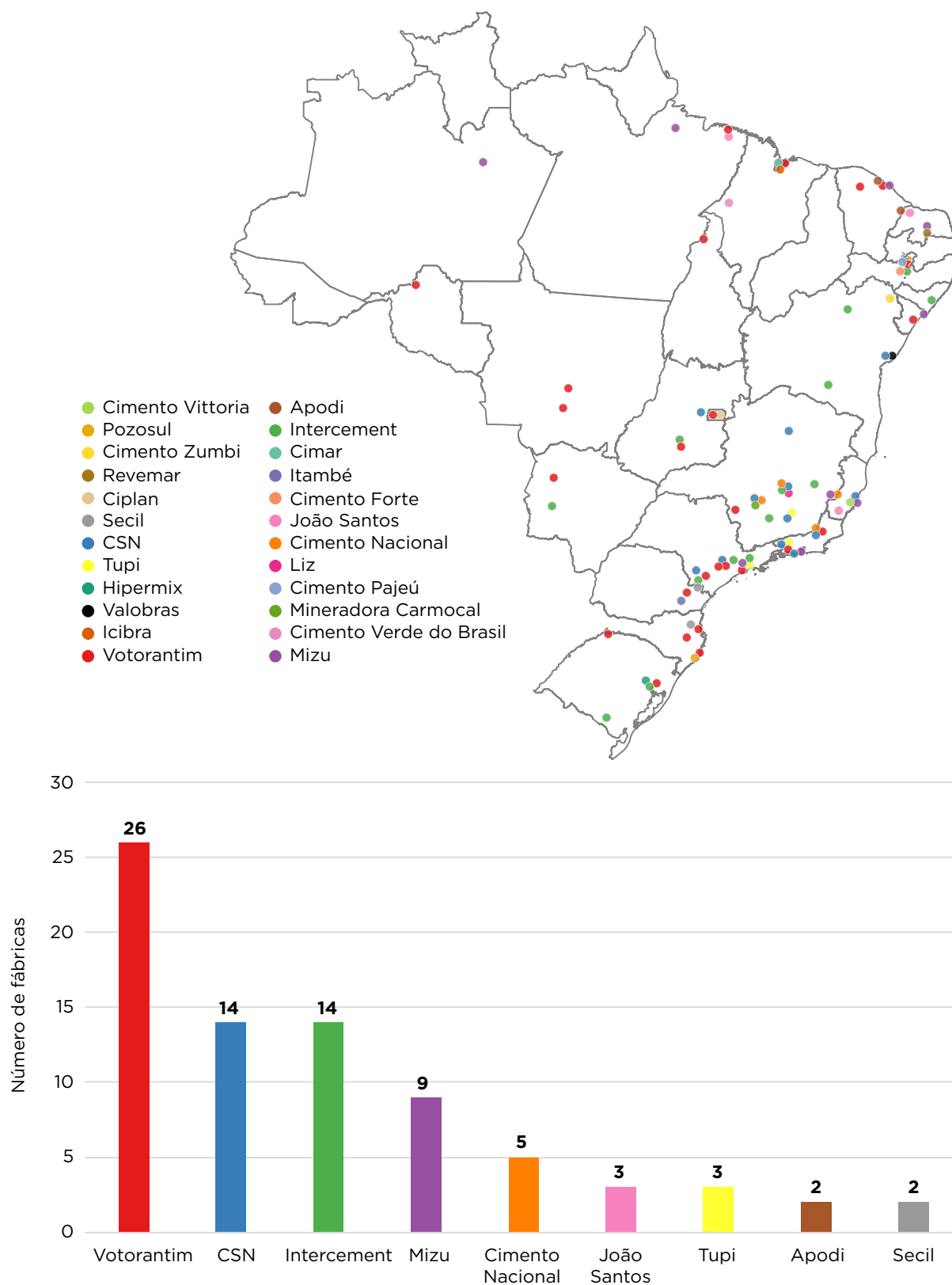
3.2 Setor de Cimento

O cimento é um material de construção amplamente utilizado como componente de argamassa, rejunte e concreto, sendo considerado o material mais consumido em todo o mundo (Gursel et al., 2014). A produção mundial de cimento manteve-se em patamar elevado nos últimos anos, alcançando aproximadamente 3,9 bilhões de toneladas em 2024 (CEMBUREAU, 2025). No Brasil, a produção acompanhou a tendência global, totalizando cerca de 64,7 milhões de toneladas em 2024 (U.S. Geological Survey, 2025; SNIC, 2025).

O Brasil é o 7º maior produtor mundial de cimento e maior produtor da América Latina (SNIC, 2025). Em 2023, o país contava com 93 fábricas de cimento, controladas por 23 grupos industriais, distribuídas em 82 municípios de 23 estados brasileiros. No mesmo ano, a capacidade instalada foi de 94 milhões de toneladas por ano, enquanto a produção efetiva atingiu 63,5 milhões de toneladas, com um consumo aparente de 62,8 milhões de toneladas no mesmo ano (SNIC, 2023).

A indústria de cimento brasileira se caracteriza por uma diversidade empresarial, mas apresenta desequilíbrios regionais de concorrência e forte concentração em grupos líderes. A Figura 11 apresenta a localização das fábricas de cimento por grupo industrial. As regiões Sul e Sudeste concentram elevada concorrência e presença de múltiplos grupos, outras áreas, como a região Norte e parte do Centro-Oeste, possuem baixa densidade de fábricas e menor competição local. A [Figura 11](#) também mostra o número de fábricas de cada grupo empresarial. É possível observar uma forte concentração em algumas companhias de grande porte, como a Votorantim (26 fábricas), Intercement (14) e CSN (14), que juntas controlam parcela significativa da capacidade produtiva nacional.

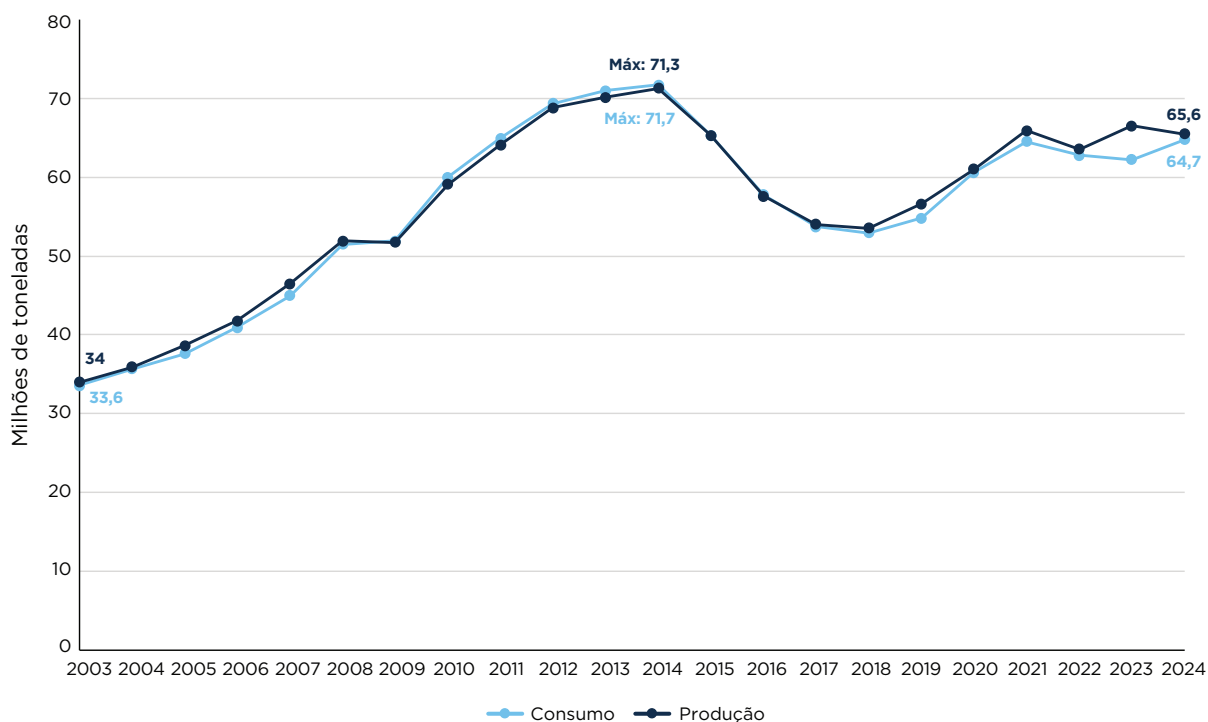
Figura 11: Fábricas de cimento por grupo industrial no Brasil, 2023



A produção de cimento requer grandes quantidades de matéria-prima e energia. Uma tonelada de cimento Portland comum pode consumir mais de 1,5 tonelada de matéria-prima e 2,93-6,28 gigajoule de energia térmica, além de 65 a 141 kWh de energia elétrica (Valderrama et al., 2012). Considerando que o consumo médio de eletricidade residencial no Brasil é de aproximadamente 160 kWh por mês (EPE, 2023) a energia elétrica utilizada na produção de uma única tonelada de cimento equivale ao consumo mensal de uma residência média brasileira.

A [Figura 12](#) mostra a evolução da produção e consumo de cimento no Brasil para o período de 2003-2024. Ao longo de toda a série é possível observar que os dois indicadores se mantêm próximos um do outro: a produção doméstica raramente ultrapassa o consumo por quantidades significativas. O mercado é majoritariamente doméstico, com comércio exterior reduzido. Por exemplo, em 2024, a produção atingiu cerca de 65,5 milhões de toneladas, enquanto o consumo ficou em torno de 64,7 milhões de toneladas, essa pequena diferença indica que há pouco espaço para exportações de cimento, uma vez que o setor funciona essencialmente para suprir a demanda doméstica (SNIC, 2024).

Figura 12: Produção e consumo de cimento no Brasil, 2003-2024



Fonte: elaboração própria com base nos dados do SNIC (2025).

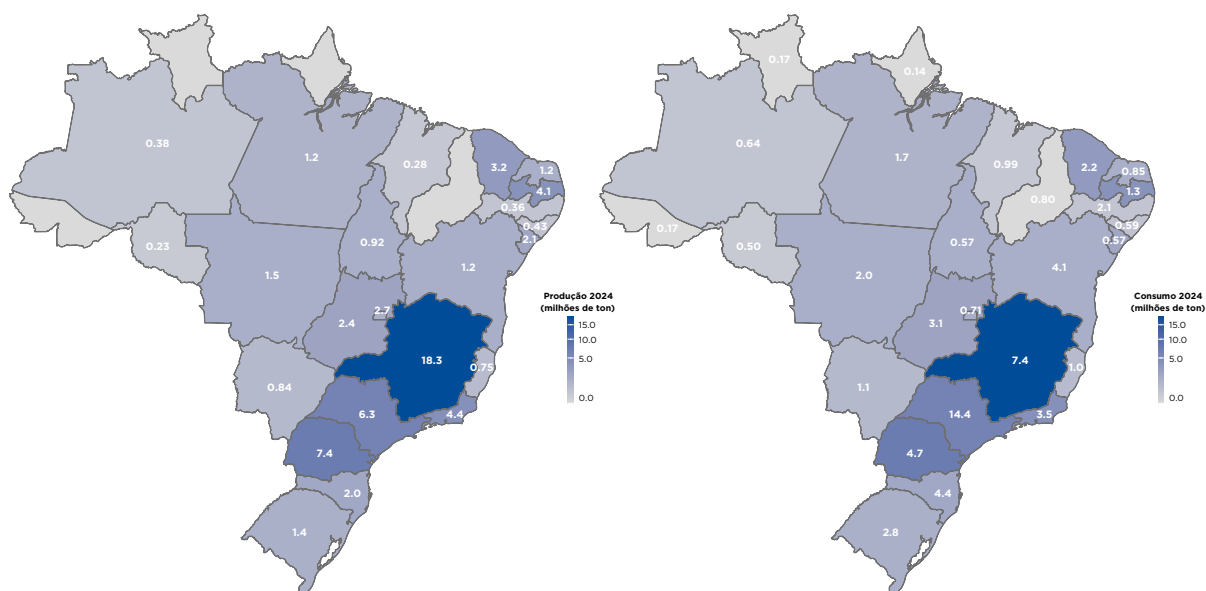
De 2003 a 2014, observou-se um crescimento acentuado no consumo de cimento, de 32,6 para cerca de 71 milhões de toneladas, um registro histórico marcado pela retomada do crescimento do país, seguido por um período de queda entre 2015 e 2018, devido à crise na Construção Civil (SNIC, 2023). Outro ponto que merece atenção, é que o consumo brasileiro do cimento fechou o ano de 2024 com um desempenho

positivo, encerrando um ciclo de retração e retomando o crescimento. O dinamismo da construção civil em 2024, que registrou crescimento de 4,3% no PIB e forte geração de empregos, ajuda a explicar também a recuperação do consumo de insumos essenciais como o cimento, especialmente diante da retomada de grandes obras e do programa habitacional Minha Casa, Minha Vida¹⁵, que impulsionaram a necessidade de materiais de base (CBIC, 2025; IBGE, 2025).

Também é possível observar que as diferenças regionais da oferta e demanda do setor de cimento revelam como determinados estados atuam como polos exportadores domésticos, enquanto outros dependem fortemente de importações internas, moldando a logística e a dinâmica de mercado do cimento no país. Por exemplo, em 2024, os estados de Minas Gerais (18,3 Mt¹⁶), Paraná (7,4 Mt) e Paraíba (4,1 Mt) apresentaram uma produção superior ao consumo, além de superávits (produção menos consumo) menores em Rio Grande do Norte, Sergipe e Ceará (Figura 13).

Esses polos atuam como exportadores domésticos de cimento, abastecendo estados vizinhos. Por outro lado, não identificamos produção nos estados do Amapá, Acre, Roraima e Piauí, provavelmente devido à ausência de fábricas de cimento nesses estados (Figura 11), e é possível observar déficits de produção mais acentuados em São Paulo (-8,1 Mt), Bahia (-2,9 Mt) e Santa Catarina (-2,4 Mt), principalmente. Esses números explicam por que quase toda a produção nacional é absorvida internamente. Essa baixa inserção internacional decorre de características estruturais do produto, já que “o custo do frete, o baixo valor agregado e a perecibilidade do produto limitam as transações a movimentos localizados de importações regionais” (Cunha e Fernandez, 2003).

Figura 13: Produção e consumo de cimento nos estados brasileiros, 2024



Fonte: elaboração própria com base nos dados do SNIC (2025).

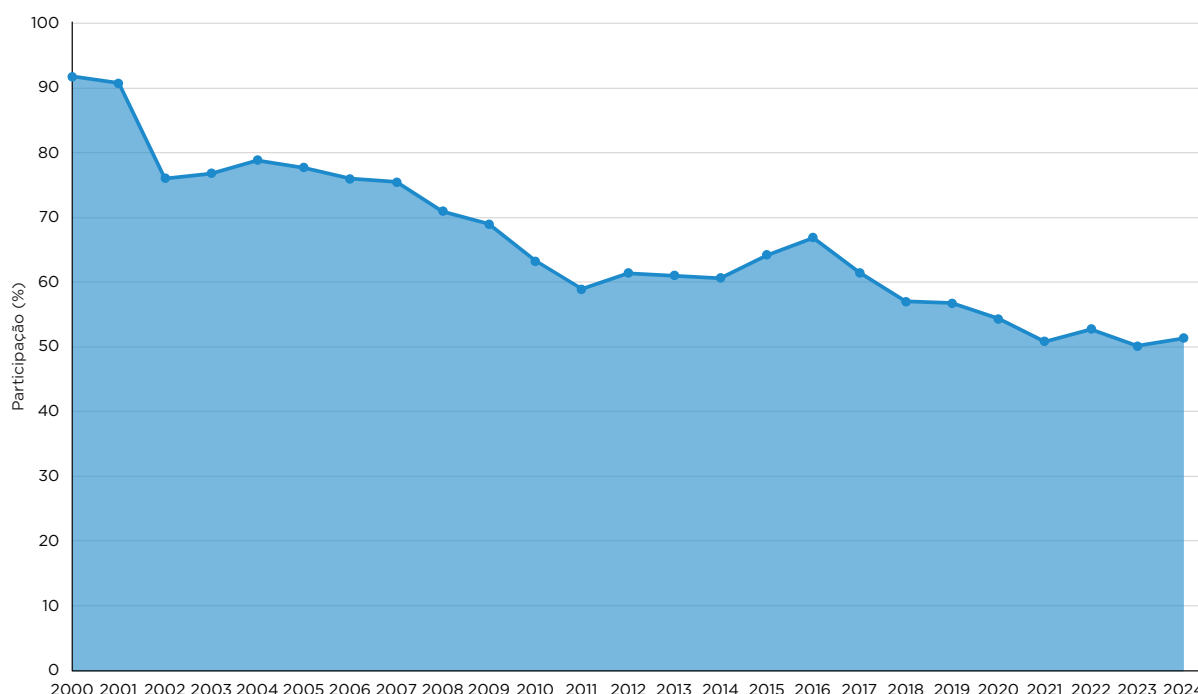
¹⁵ Segundo o estudo divulgado pela Câmara Brasileira da Indústria e Construção (CBIC), o programa Minha Casa, Minha Vida registrou um crescimento ainda mais expressivo, com alta de 43,3% nas vendas e de 44,2% nos lançamentos de imóveis residenciais no ano de 2024 (CBIC, 2025).

¹⁶ Milhões de toneladas.

4. Comércio internacional

Os produtos da indústria de transformação historicamente representaram uma parcela expressiva do valor total exportado pelo Brasil. A [Figura 14](#) mostra a evolução dessa participação no total das exportações entre 2000 e 2024. Observa-se, contudo, uma tendência de redução nos anos mais recentes, associada principalmente ao crescimento relativo das exportações de produtos minerais e agrícolas (MDIC, 2025a). Ainda assim, ao longo do período analisado, a indústria de transformação respondeu, em média, por 66% do valor exportado pelo país, encerrando 2024 com participação de aproximadamente 51%.

Figura 14: Participação da indústria de transformação nas exportações brasileiras, 2000–2024

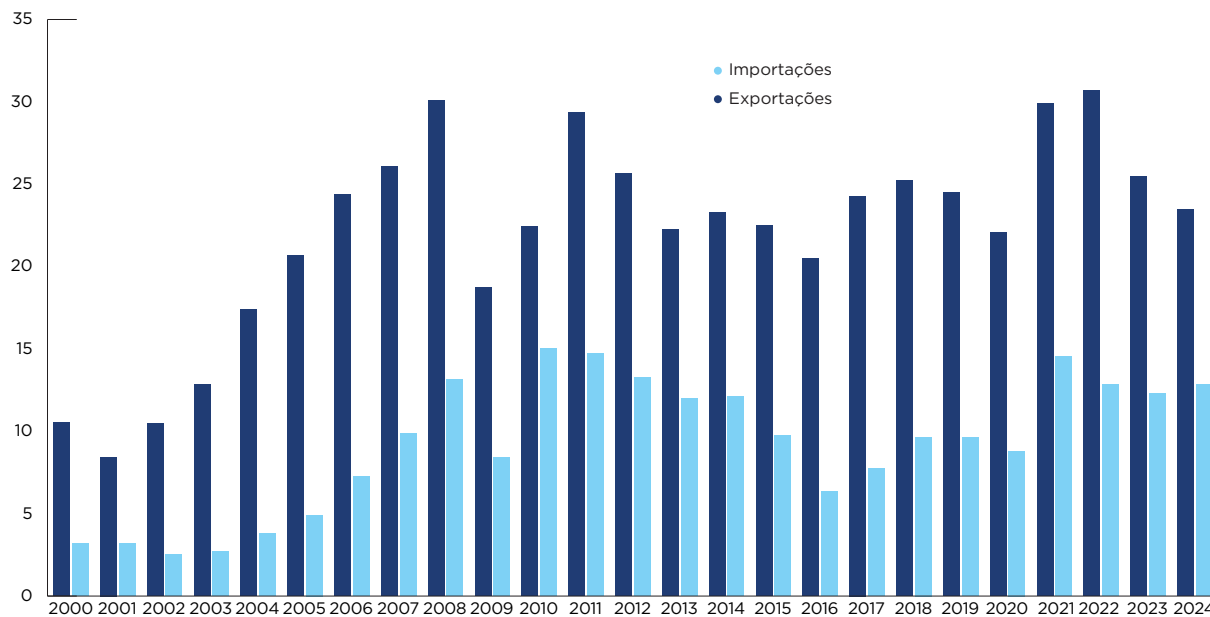


Fonte: elaboração própria com base nos dados da SECEX/ComexStat (2025).

Dentro desse conjunto, a indústria metalúrgica ocupa uma posição estratégica. Entre 2000 e 2024, o setor respondeu, em média, por 14% das exportações da indústria de transformação, consolidando-se como um de seus segmentos mais relevantes. Entre os principais produtos exportados, destacam-se o ferro-gusa e o aço bruto, que, em conjunto, responderam por 1,6% das exportações totais do país, figurando como o 13º produto mais exportado pelo Brasil no período (MDIC, 2024a). A [Figura 15](#) apresenta a evolução anual do valor das exportações e importações de produtos da metalurgia entre 2000 e 2024.¹⁷

¹⁷ O setor de cimento não é tratado na seção de comércio exterior, pois sua participação é limitada com as exportações e importações somadas alcançando menos de US\$ 55 milhões em 2024, e o cimento importado representando cerca de 1% do consumo nacional (ABCP, 2024).

Figura 15: Evolução anual do valor das exportações e importações dos produtos da metalurgia, 2000 - 2024 (bilhões de USD FOB)

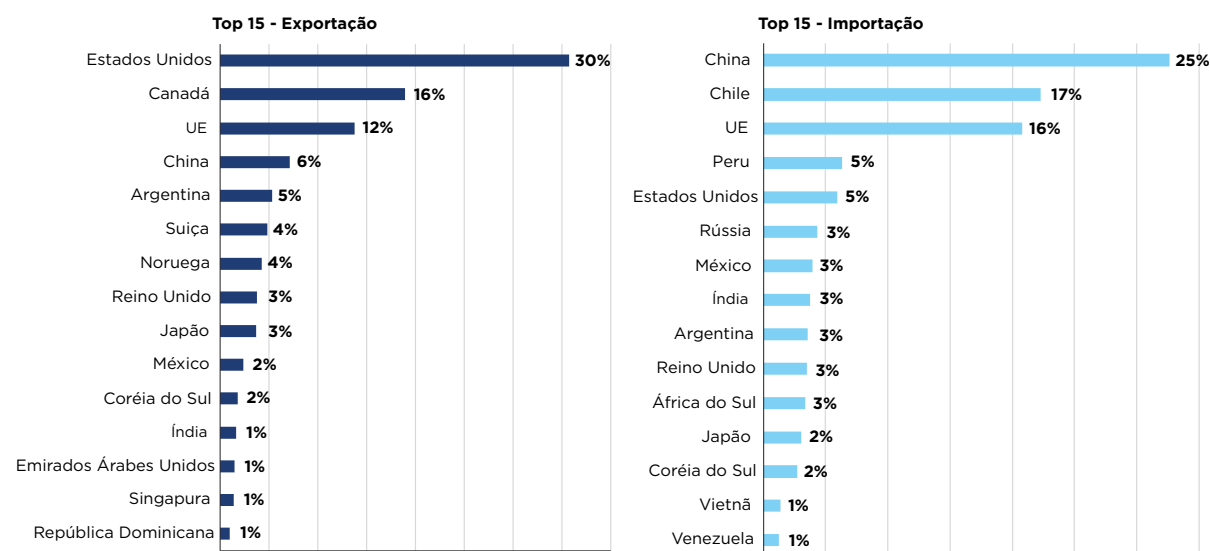


Fonte: elaboração própria com base nos dados da do MDIC (2025b).

Nota: os valores foram deflacionados utilizando o CPI dos Estados Unidos (Índice 2024=100). Foram considerados os NCMs que correspondem às CNAEs do setor de metalurgia, conforme a Tabela de Correspondência NCM 2011 X CNAE do IBGE.

A [Figura 16](#) ilustra os principais parceiros comerciais da metalurgia nacional. Do lado das exportações, embora haja relativa diversificação de destinos, os Estados Unidos e a China se destacam como os principais mercados, especialmente para produtos como ferro-gusa e aço bruto. No caso das importações, o setor metalúrgico brasileiro depende majoritariamente da entrada de metais refinados, sobretudo não ferrosos, como alumínio e cobre, provenientes principalmente da China e do Chile.

Figura 16: Principais destinos e origens do comércio exterior do setor metalúrgico em 2024



Fonte: elaboração própria com base nos dados da do MDIC (2025b).

Nota: os valores foram deflacionados utilizando o CPI dos Estados Unidos (Índice 2024=100). Foram considerados os NCMs que correspondem às CNAEs do setor de metalurgia, conforme a Tabela de Correspondência NCM 2011 X CNAE do IBGE.

5. Mercado de trabalho

A [Tabela 1](#) apresenta algumas estatísticas sobre o mercado de trabalho de setores-chaves para a transição energética nacional. Nela, estão destacadas a metalurgia e a produção de cimento, foco principal deste relatório. É visível que ambas as indústrias apresentam estruturas de emprego distintas e desafios próprios. Em 2024, o setor metalúrgico empregava cerca de 213 mil trabalhadores formais, enquanto o de cimento registrava aproximadamente 16 mil postos de trabalho.¹⁸

Tabela 1: Resumo do Mercado de Trabalho Formal por setor econômico no Brasil, 2024

Setor Econômico	Número de Trabalhadores (em mil)	Participação Feminina (%)	% Alta Qualificação	Salário Médio (R\$)	Mediana Salarial (R\$)
Metalurgia	213	14%	29%	5.673	4.156
Cimento	16	18%	47%	6.219	4.294
Mineração	204	16%	28%	5.577	3.956
Transporte	2.291	19%	20%	4.252	3.070
Óleo e Gás	95	17%	67%	20.310	15.813
Elétrico	124	20%	53%	9.232	5.927
Outros Setores Industriais	6.656	33%	19%	3.848	2.726
Resto do Mercado formal	31.101	46%	30%	3.525	2.301

Fonte: elaboração Propria com base nos dados da RAIS (2024).

Nota: a identificação dos setores foi feita a partir da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0). Os setores foram identificados com base nos códigos CNAE: óleo e gás (“0600”, “0910”, “192”), elétrico (“351”), transporte (“29”, “30”, “49”, “50”, “51”) e mineração (“05”, “07”, “08”, “09”). Em Outros Setores Industriais entram os códigos de 10 até 33, sem dupla contagem com os anteriores. As variáveis foram convertidas para binárias. A identificação de alta e baixa qualificação foi realizada em duas etapas: (i) pelo grupo ocupacional da CBO, sendo considerados de alta qualificação os grupos 1 a 3 (direção, gerência e profissionais de nível superior) e de baixa qualificação os grupos 4 a 9 (técnicos de nível médio, serviços, comércio, agropecuária, indústria, operadores de máquinas e ocupações elementares); (ii) reclassificando como de alta qualificação todos os trabalhadores com ensino superior completo, mestrado ou doutorado, independentemente do grupo CBO. Para o cálculo das estatísticas, foram considerados apenas os vínculos com salários maiores do que zero.

Os setores de metalurgia e cimento apresentam nível salarial acima da média: o salário médio na metalurgia alcançou R\$ 5.673, e no cimento R\$ 6.219. Esses valores são maiores do que o verificado em outros setores industriais (R\$ 3.848) e no resto do mercado formal (R\$ 3.525). Ou seja, os trabalhadores dessas indústrias pesadas recebem, em média, mais do que a média nacional e que outros trabalhos da indústria.

Ao observar o retorno da qualificação, o setor de cimento chama atenção. Apesar de ter 47% dos seus trabalhadores classificados como de alta qualificação, sua remunera-

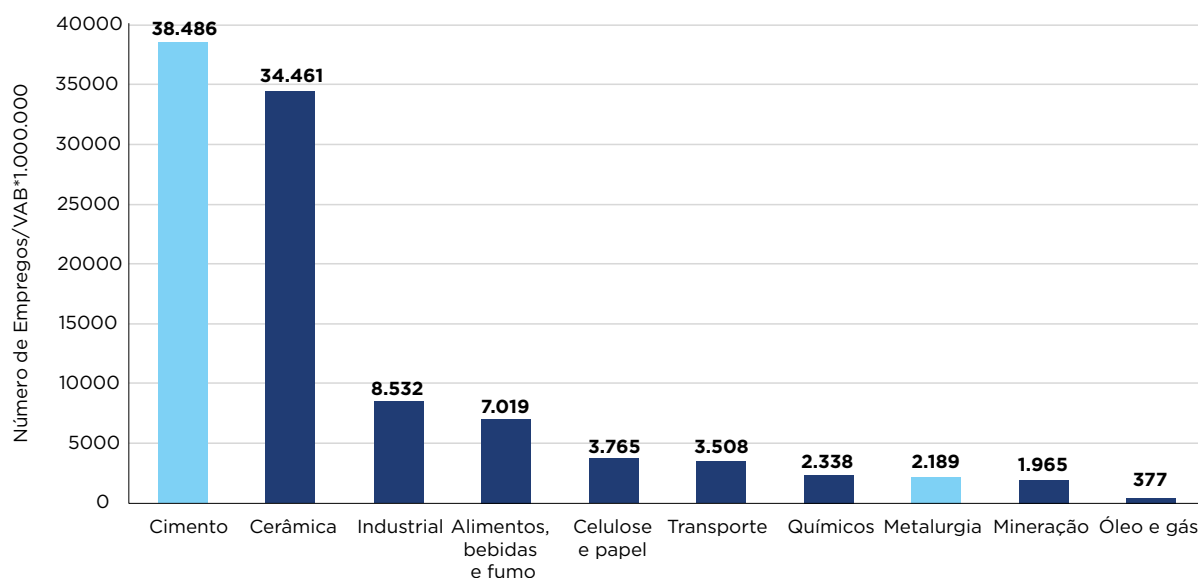
¹⁸ Em razão dos prazos de processamento dos dados, esse relatório utiliza a versão parcial da RAIS 2024, restrita ao setor privado. Todas as conclusões apresentadas se mantêm quando é utilizada a RAIS 2024 completa.

ção média não se distancia muito da observada em setores menos qualificados, como a própria metalurgia (29% de alta qualificação) ou o setor de mineração (28% de alta qualificação). Esses dados sugerem que o setor de cimento oferece retorno salarial aquém da qualificação requerida, quando comparado ao setor elétrico, por exemplo, onde 53% dos trabalhadores são de alta qualificação e o salário médio chega a R\$ 9.232. O setor de óleo e gás também se destaca pelo alto nível de qualificação: mais da metade dos trabalhadores pertence a esse grupo (67%) e os salários médios ultrapassam R\$ 20 mil, muito acima da média industrial.

Em termos de inclusão de gênero, ambos os setores mantêm baixa participação feminina (14% na metalurgia e 18% no cimento) contrastando com 46% no conjunto do mercado formal. Por último, a distribuição salarial é ligeiramente mais desigual no setor de cimento (razão média/mediana de 1,44) do que na metalurgia (1,36), o que pode sugerir maior concentração de rendas nas faixas superiores e reforça o caráter especializado do emprego no setor cimenteiro.

A [Figura 17](#) ilustra o volume de empregos gerados por cada setor, controlando pelo valor da sua produção. Assim, a produção de cimento destaca-se como grande empregadora para o quanto produz, com 38,5 mil funcionários para cada milhão de reais gerado em valor adicionado, o maior patamar entre os setores analisados. No extremo oposto, estão os setores de óleo e gás (377), mineração (1965), e metalurgia (2189).

Figura 17: Empregos por por VAB por setor no Brasil, 2024



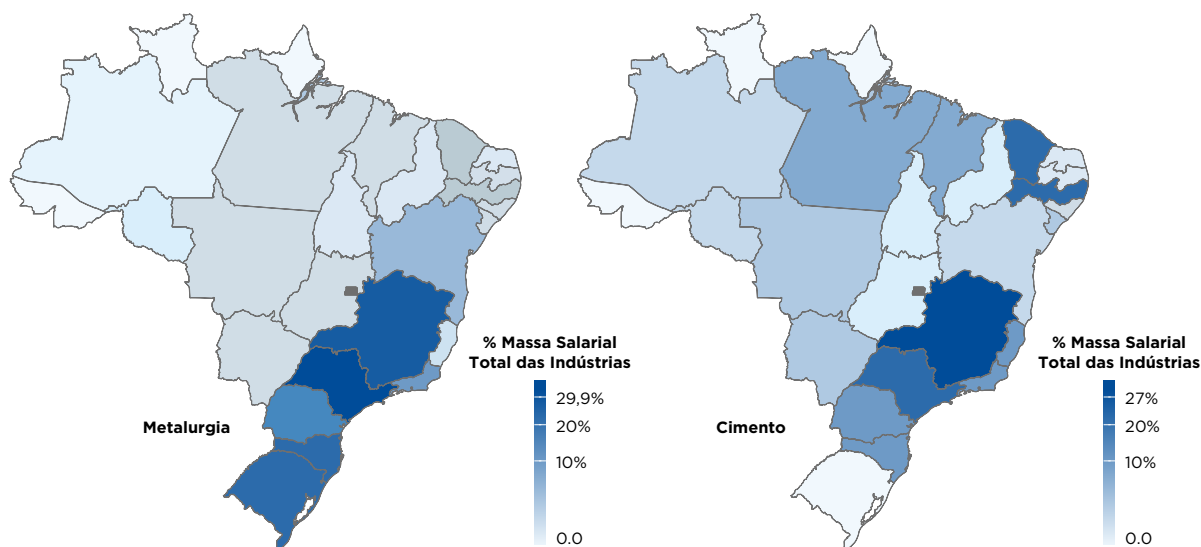
Fonte: elaboração própria com base nos dados do (IBGE, 2025a) e RAIS (2024).

Nota: a identificação dos setores foi feita a partir da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0). Os setores foram identificados com base nos códigos CNAE: óleo e gás ("0600", "0910", "192"), elétrico ("351"), transporte ("29", "30", "49", "50", "51") e mineração ("05", "07", "08", "09"). As variáveis foram convertidas para binárias. O indicador da figura é representado da seguinte forma: Intensidade de emprego por VA = número de empregos diretos do setor dividido pelo seu Valor Adicionado (VA), multiplicado por 1.000.000. Esse indicador expressa quantos empregos diretos estão associados a cada unidade monetária de VA gerada; valores maiores indicam maior intensidade de trabalho. Para o cálculo das estatísticas, foram considerados apenas os vínculos com salários maiores do que zero.

A [Figura 18](#) ilustra a distribuição territorial de metalurgia e do cimento. Nela, é possível observar que o Sudeste responde por aproximadamente 48% da massa salarial¹⁹ do setor de cimento no Brasil, seguido pelo Nordeste (28%), enquanto Sul (10%), Norte e Centro-Oeste (5%) têm papéis secundários. Entre os estados, o destaque vai para Minas Gerais concentrando 27% de toda a massa salarial do setor no país, em seguida aparece São Paulo, com cerca de 11,6%, Pernambuco (8,6%) e Ceará (8,3%). As regiões Norte e Sul apresentam uma participação muito baixa na geração de renda e emprego da indústria cimenteira.

De forma similar, ao setor de metalurgia também exibe uma forte concentração de sua massa salarial nas regiões Sudeste (55,5%) e Sul (25%), e uma menor participação das demais regiões: Nordeste (10,5%), Centro-Oeste (6,0%) e Norte (3,0%). Entre os estados, São Paulo é o principal polo, com cerca de 29,9% de toda a massa salarial da metalurgia. Em seguida vem Minas Gerais²⁰, com aproximadamente 19,6%. Logo depois aparecem os três estados do Sul: Santa Catarina (8,8%), Rio Grande do Sul (8,6%) e Paraná (7,5%). Esses estados respondem por cerca de 74% da massa salarial nacional da metalurgia.

Figura 18: Proporção da massa salarial dos setores de cimento e metalurgia por estado, 2024



Fonte: elaboração própria com base nos dados da RAIS (2024).

Nota: a identificação dos setores foi feita a partir da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0). O setor de cimento foi associado ao código CNAE 23.2 e a metalurgia ao código 24.

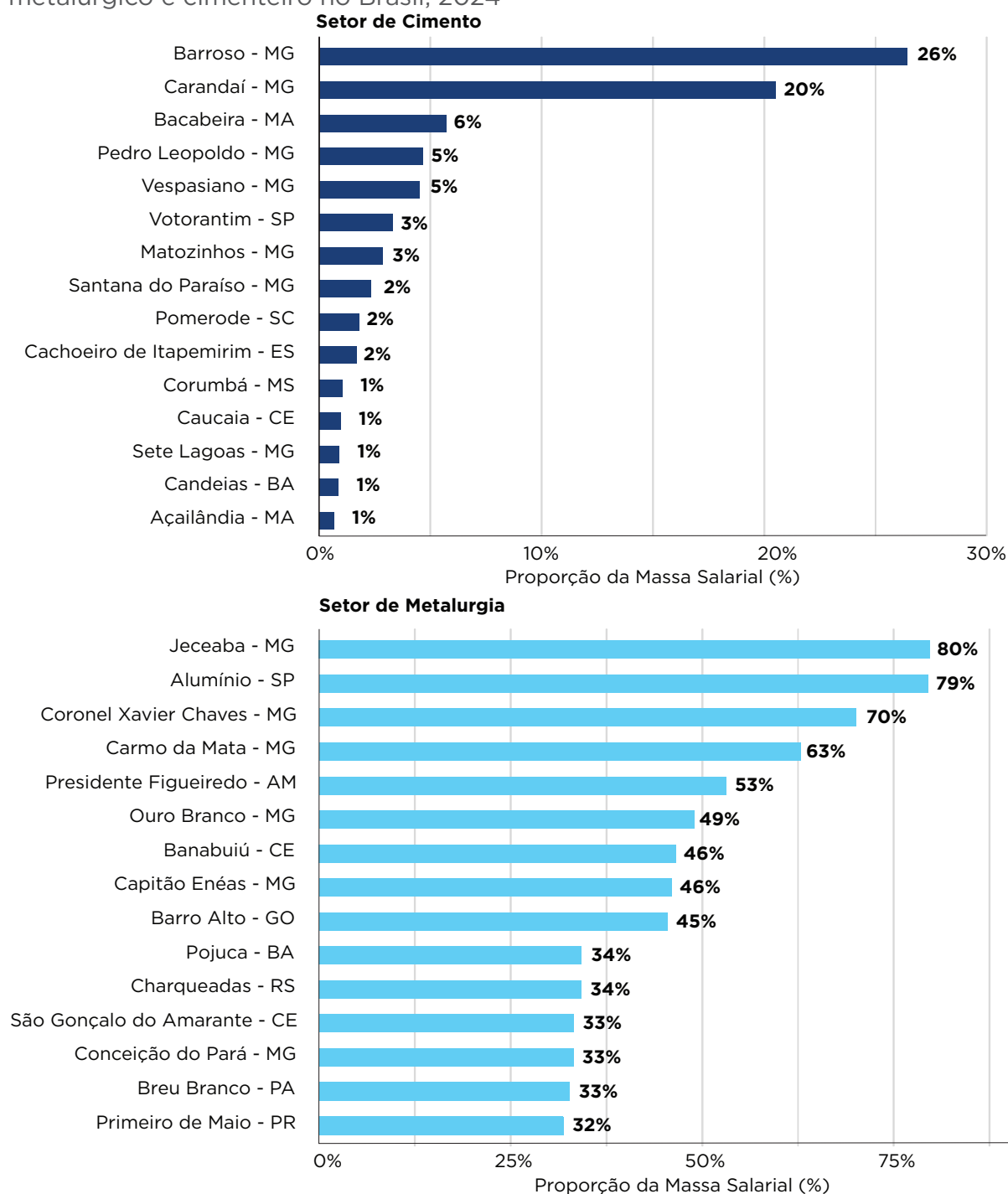
Para além do nível estadual, é importante analisar a distribuição dos empregos desses setores nas cidades do Brasil. Diante disso, a [Figura 19](#) ilustra os municípios brasileiros com maior dependência econômica em relação aos setores de metalurgia e cimento. A dependência econômica é representada por um indicador que mede o peso dos salários pagos por estas indústrias no conjunto da economia formal local. Nota-se que algumas localidades, como Jeseaba (MG) e Alumínio (SP), têm quase 80% do seu mercado de trabalho formal associado a metalurgia. Essa concentração significa que

¹⁹ A massa salarial de um setor corresponde ao total pago em salários por esse setor. Logo, como o Sudeste responde por 48% da massa salarial da indústria cimenteira, 48% do valor pago em salário nessa indústria é destinado para trabalhadores no Sudeste.

²⁰ O trabalho de Viana (2025) também identificou São Paulo e Minas Gerais como estados com maior proporção de massa salarial da indústria siderúrgica no Brasil.

choques de mercado ou transformações regulatórias, como as que podem ocorrer a partir da transição energética, têm potencial de afetar profundamente a economia local e o bem-estar das famílias, dada a ausência de alternativas produtivas significativas. Mesmo os municípios mais dependentes da indústria cimenteira, tendem a possuir um mercado de trabalho mais diversificado e, portanto, provavelmente mais resiliente a choques de mercado sob o setor.

Figura 19: Quinze municípios com a massa salarial mais dependente dos setores metalúrgico e cimenteiro no Brasil, 2024



Fonte: elaboração própria com bases nos dados do (IBGE, 2025a) e RAIS (2024).

Nota: a figura apresenta a proporção da massa salarial municipal do setor industrial sobre o total municipal. A identificação dos setores foi feita a partir do Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0). O setor de cimento foi associado ao código CNAE 23.2 e a metalurgia ao código 24.

6. Conclusão

A indústria brasileira será componente importante da transição energética nacional, tanto pelo seu consumo de energia quanto pelas emissões associadas à produção industrial. No entanto, para viabilizar a elaboração de estratégias e planos abrangentes de descarbonização industrial no Brasil, é fundamental analisar o potencial de redução de emissões para uma ampla gama de setores industriais. A metalurgia e cimento são prioritários para o êxito da transição energética brasileira, considerando o seu peso econômico e a sua contribuição para as emissões, juntos respondem por 63% das emissões da indústria e por 4,8% das do país em 2024.

Na metalurgia, a predominância da rota integrada e a rigidez operacional dos altos-fornos elevam o desafio de abatimento das emissões. No cimento, o principal desafio é que a maior parte das emissões está nos processos industriais do clínquer que são de difíceis de reduzir.

A importância socioeconômica de ambos os setores vai, no entanto, além do seu papel enquanto setores emissores. Tanto a metalurgia quanto a produção de cimento são essenciais para outras partes da economia, com destaque para a construção civil. Do ponto de vista sistêmico, todavia, a metalurgia é muito mais integrada do que a indústria cimenteira, empregando 213 mil pessoas, contribuindo para a balança comercial brasileira e respondendo por mais de 5% do valor adicionado industrial do país.

Nesse contexto, a transição energética representa não apenas um desafio, mas também uma oportunidade estratégica para o Brasil. A combinação de uma matriz elétrica majoritariamente renovável, experiência acumulada em algumas rotas produtivas de menor intensidade de carbono e potencial para desenvolvimento tecnológico cria condições favoráveis para avançar na descarbonização da indústria de base. No entanto, esse processo exigirá coordenação entre políticas industriais, energéticas, ambientais e de qualificação profissional, além de instrumentos adequados de financiamento e mitigação de riscos.

O Plano Nacional de Transição Energética (Plante) surge, assim, como um espaço central para articular essas dimensões. A incorporação de ações específicas para os setores de metalurgia e cimento, alinhadas às suas características produtivas e socioeconômicas, será fundamental para garantir que a transição ocorra de forma gradual, justa e compatível com a manutenção da competitividade industrial. Ao reconhecer as heterogeneidades setoriais e regionais, o Plante pode contribuir para transformar a descarbonização industrial em um vetor de desenvolvimento econômico sustentável, geração de emprego qualificado e redução das emissões no longo prazo.

Referências

Andrade, M. L. A. de, Cunha, L. M. da S., & Gandra, G. T. (1999). Panorama da indústria mundial de ferroligas. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Disponível em: bit.ly/4c9mDOc

Andrade, Maria Lúcia Amarante de; CUNHA, Luiz Maurício da Silva; GANDRA, Guilherme Tavares. A ascensão das mini-mills no cenário siderúrgico mundial. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 12, p. [51]-76, set. 2000

Azevedo, M., Baczyńska, M., Bingoto, P., & Callaway, G. (2022). The raw-materials challenge: How the metals and mining sector will be at the core of enabling the energy transition. Disponível em: bit.ly/4a7QlQU

Associação Brasileira de Cimento Portland. (2022). Panorama do Coprocessamento – Brasil 2022 (Ano base 2021). São Paulo: ABCP. Disponível em: bit.ly/4rvhoN7

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2016a). Cimento (Série Setorial, n. 39). Rio de Janeiro: BNDES. Disponível em: bit.ly/3ZlAw4s

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. (2016b). Panoramas setoriais – mudanças climáticas. BNDES. Disponível em: bit.ly/4aA1Py5

Barbhuiya, S., Das, B. B., & Adak, D. (2024). Roadmap to a net-zero carbon cement sector: Strategies, innovations and policy imperatives. Journal of Environmental Management, 359, 121052. Disponível em: bit.ly/4rIGqyV

Bataille, C., Åhman, M., Neuhoff, K., Nilsson, L. J., Fishedick, M., Lechtenböhmer, S., ... & Rahbar, S. (2018). A review of technology and policy deep decarbonization pathway options for making energy-intensive industry production consistent with the Paris Agreement. Journal of Cleaner Production, 187, 960-973. Disponível em: bit.ly/4t1Xcb

Biswas, P., Banerjee, P., Kumari, R., Choudhury, A., & Kukreja, P. (2014). Industry structure and the pattern of innovation: Basic Metal Industry of India. Disponível em: bit.ly/4qrm4mv

Brasil. (2024). Resolução n.º 5, de 26 de agosto de 2024: Institui a Política Nacional de Transição Energética - PNTE, o Plano Nacional de Transição Energética - Plante, o Fórum Nacional de Transição Energética - Fonte, e dá outras providências. Disponível em: bit.ly/3MsKRZi

Brasil (2025). Participação regional no Valor de Transformação Industrial (VTI) em 2023. Agência Brasil, 25 jun. 2025. Disponível em: bit.ly/4tEONZJ. Acesso em: 31 ago. 2025.

Brasil. Ministério de Minas e Energia. (2015). Anuário estatístico do setor metalúrgico e do setor de transformação de não metálicos: Base 2014. Brasília: MME. Disponível em: bit.ly/4r1TpFz

Brasil. Ministério de Minas e Energia & Empresa de Pesquisa Energética. (2007). Plano Nacional de Energia 2030 (Vol. 12). Brasília: MME/EPE. Disponível em: bit.ly/4qkDmRY

Brasil Mineral. (2022). Mining in Brazil beyond expectations (Special Issue). Brasil Mineral. Disponível em: bit.ly/3NSXfCr

Brasil. (2023). Decreto nº 11.632, de 11 de agosto de 2023. Planalto. Acedido em 18 de setembro de 2025. Disponível em: bit.ly/4bAWPKH

Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC. (2024). Desempenho da construção civil em 2024 e perspectivas para 2025. SESI, Sinduscon-MG. Disponível em: bit.ly/4qpRJ7z

Carbone, C., Ferrario, D., Lanzini, A., Stendardo, S., & Agostini, A. (2022). Evaluating the carbon footprint of cement plants integrated with the calcium looping CO₂ capture process. *Frontiers in Sustainability*, 3, 809231. Disponível em: bit.ly/46ykOGQ

CEMBUREAU - The European Cement Association (2025). Activity Report 2024. Disponível em: bit.ly/3ObeSxc

Chaves, G. D. L. D., Siman, R. R., Ribeiro, G. M., & Chang, N. B. (2021). Synergizing environmental, social, and economic sustainability factors for refuse derived fuel use in cement industry: A case study in Espírito Santo, Brazil. *Journal of environmental management*, 288, 112401. Disponível em: bit.ly/45SC9du

Chen, Y., & Zuo, H. (2021). Review of hydrogen-rich ironmaking technology in blast furnace. *Ironmaking & Steelmaking*, 48(6), 749-768. Disponível em: bit.ly/4rOQFbn

Chen, Y., Zhu, X., & Chen, J. (2022). Spillovers and hedging effectiveness of non-ferrous metals and sub-sectoral clean energy stocks in time and frequency domain. *Energy Economics*, 111, 106070. Disponível em: bit.ly/4qkPDGc

Climate MIT. (2023). How clean is green hydrogen? MIT Climate Portal. Disponível em: bit.ly/3NZC4yy

Comissão Europeia. (2025). Metal industries. Disponível em: bit.ly/45MHL9a

Conselho Administrativo de Defesa Econômica. (2019). Cadernos do Cade: Mercado de cimento no Brasil. Brasília: CADE. Disponível em: bit.ly/4agKUz9

Confederação Nacional da Indústria. (2018). Mudança do clima e indústria brasileira: Iniciativas e recomendações estratégicas para implementação e financiamento da NDC do Brasil (p. 64). Brasília: CNI.

Confederação Nacional da Indústria. (2021). Economia brasileira 2021-2022. CNI. Disponível em: bit.ly/4r2fOTb

Confederação Nacional da Indústria. (2025). A importância da indústria para o Brasil. Brasília: CNI. Disponível em: bit.ly/3ZUdKRf

CUNHA, Luiz Maurício da Silva; FERNANDEZ, Cassiana Yumi Hayashi. A indústria de cimento: perspectivas de retomada gradual. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 18, p. 149-164, set. 2003. Disponível em: bit.ly/4tnaUSo. Acesso em: 4 set. 2025.

Davis, S. J., Lewis, N. S., Shaner, M., Aggarwal, S., Arent, D., Azevedo, I. L., ... & Caldeira, K. (2018). Net-zero emissions energy systems. Science, 360(6396), eaas9793. Disponível em: bit.ly/4a1mHhA

de Paula, G. M. (2025). Decarbonization in the steel value chain: Global and the Brazilian experiences. Working Paper DIP-BR 06/2025, IERI-UFU.

EIONET. (2025). Concept #5175. Disponível em: bit.ly/4koDfUb

Emerging Markets Investors Alliance. (2023). Decarbonization in steel and cement production. Disponível em: bit.ly/4cftyp3

EPE (2025a). Balanço energético nacional 2025. Ano base 2024. Disponível em: bit.ly/3MoZHA5

Empresa de Pesquisa Energética. (2024a). Atlas da eficiência energética Brasil 2024 – Relatório de indicadores. Disponível em: bit.ly/3Mr7y00

Empresa de Pesquisa Energética. (2024b). Balanço energético nacional - BEN 2024: Relatório síntese ano base 2023. Disponível em: bit.ly/3ZIXRTC

Fernandes, P. D., et al. (2024). Descarbonização da indústria de base. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Disponível em: bit.ly/4qqAFyy

Finatti, R. (2017). Aglomerações industriais no Brasil. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo.

Gabriel, L. F.; Ribeiro, L. C. S.; Souza Filho, J. F. Productive interdependence and structural change in Brazil: an empirical analysis. 50º Encontro Nacional de Economia (ANPEC), Fortaleza, 2022.

Giergiczny, Z. (2019). Fly ash and slag. Cement and Concrete Research. Volume 124, 105826. DOI: 10.1016/j.cemconres.2019.105826

Gielen D. and C. Papa (2021), Materials for the energy transition, International Renewable Energy Agency and ENEL, Abu Dhabi and Rome. Disponível em: bit.ly/3OdNXkp

Global Cement and Concrete Association. (2025). Our story – Cement and concrete. Disponível em: bit.ly/4ajdQ9V

Global Energy Monitor (2024). Forging a sustainable future: Brazil's opportunity to lead in steel decarbonization. Disponível em: bit.ly/3Or0FMI

Gursel, A. P., Masanet, E., Horvath, A., & Stadel, A. (2014). Life-cycle inventory analysis of concrete production: A critical review. Cement and Concrete Composites, 51, 38-48.

Habert, G., Billard, C., Rossi, P., Chen, C., & Roussel, N. (2010). Cement production technology improvement compared to factor 4 objectives. Cement and Concrete Research, 40(5), 820-826. Disponível em: bit.ly/4klo9Pt

Instituto Aço Brasil. (2020). Relatório de sustentabilidade 2020. Instituto Aço Brasil. Disponível em: bit.ly/3LZ2pMB

Instituto Aço Brasil (IABr). (2021). Publicações - Anuário Estatístico. Disponível em: bit.ly/3MadACa

Instituto Aço Brasil. (2023a). Mercado brasileiro de aço: Análise setorial e regional – Séries históricas até 2022. Instituto Aço Brasil. Disponível em: bit.ly/4tnnHUW

Instituto Aço Brasil. (2023b). Relatório anual 2023: Desempenho e perspectivas da indústria siderúrgica brasileira. Disponível em: bit.ly/3Mhny4v

Instituto Aço Brasil. (2025). Anuário estatístico 2025: Brazil Steel Databook. Instituto Aço Brasil. Disponível em: bit.ly/4tI0oLd

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2005). Indústria cresce 8,3% em 2004 e tem variação de 0,6% em dezembro. Agência IBGE Notícias. Disponível em: bit.ly/4tnz2Ep

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). Preços na indústria fecham 2021 com alta de 28,39%: recorde da série histórica. Agência de Notícias. Disponível em: bit.ly/45Q4xgh

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2023). Indústria registra variação nula em dezembro e fecha 2022 com queda de 0,7%. Agência de Notícias. Disponível em: bit.ly/4ajGozY

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2025a). Pesquisa industrial anual - Empresa (PIA-Empresa) [Base de dados]. Disponível em: bit.ly/4bGqemG

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2025b). IBGE - Classificação Nacional de Atividades Econômicas - CNAE. Divisão 24: Metalurgia. Disponível em: bit.ly/4qkuAmY

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2025c). Sistema de Contas Nacionais - SCN [Base de dados]. Disponível em: bit.ly/4aApUVv

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2025d). Contas nacionais trimestrais: 4º trimestre de 2024. IBGE. [Relatório]. Disponível em: bit.ly/4a2nDIN

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2025e). CNAE-Subclasses 2.3: Divisão 24 - Metalurgia. Comissão Nacional de Classificação - CONCLA. Disponível em: bit.ly/3MfDzlc

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2024). Pesquisa Industrial Mensal: Produção Física - Brasil, outubro 2024 [Relatório técnico]. Disponível em: bit.ly/4bFRZvM

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2008). Sistema de Contas Nacionais - Brasil: Referência 2000. Nota metodológica n.º 23: Expansão da Produção (versão para informação e comentários) [Relatório técnico]. Disponível em: bit.ly/4r9xFb4

Instituto Brasileiro de Mineração. (2021). Uma visão comentada sobre carvão metalúrgico. Disponível em: bit.ly/4bBkV87

Instituto Brasileiro de Mineração. (2024). Inventário de emissões de gases de efeito estufa do setor mineral 2024: Ano base 2022. IBRAM. Disponível em: bit.ly/46CPczV

International Energy Agency. (2018). Technology Roadmap: Low-Carbon Transition in the Cement Industry. Disponível em: bit.ly/4ql6Gb2

International Energy Agency. IEA. (2020). Iron and steel technology roadmap - Towards more sustainable steelmaking. Disponível em: bit.ly/4r9xZXk

International Energy Agency. IEA. (2023a). Renewables share of total energy supply in the Net Zero Scenario, 2010-2030. Disponível em: bit.ly/4kpEfaK

International Energy Agency. IEA. (2023b). Carbon capture, utilization and storage. Disponível em: bit.ly/4aARkdV

International Energy Agency. IEA. (2024). World Energy Outlook 2024. Disponível em: bit.ly/4bGBAHI

International Energy Agency. IEA. (2025). Global Hydrogen Review 2025. Disponível em: bit.ly/3Mj7uPL

International Panel on Climate Change. (IPCC). (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 7: Wetlands. Disponível em: bit.ly/4ax6nW1

International Panel on Climate Change. (IPCC). (2022) Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change (eds Shukla, P. R. et al.) (Cambridge Univ. Press). Disponível em: bit.ly/4rBghM7

Intergovernmental Panel on Climate Change. (IPCC). (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 2: Energy, Chapter 2: Stationary Combustion. Disponível em: bit.ly/4bBzoAU

Liu, S., & Lin, M. (2024). Trade dynamics of ferrous metals in emerging and developing countries. Resources Policy, 90, 104742. Disponível em: bit.ly/4bC5NY9

Madlool, N. A., Saidur, R., Hossain, M. S., & Rahim, N. A. (2011). A critical review on energy use and savings in the cement industries. Renewable and sustainable energy reviews, 15(4), 2042-2060.

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. (MCTI). (2020). Emissões de Gases do Efeito Estufa nos Processos Industriais: Produção de Metais – Relatório de Referência. Brasília, 2020.

Ministério de Minas e Energia. (2013). Anuário estatístico do setor metalúrgico: ano base 2012. Disponível em: bit.ly/4tlkBkh

Ministério de Minas e Energia. (2020). Anuário estatístico do setor metalúrgico 2020: Brazilian metallurgy statistical yearbook. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: bit.ly/4a594hm

Ministério de Minas e Energia. (2024). Plano Nacional de Transição Energética - PLANTE. Disponível em: bit.ly/3Otg92l

Ministério de Minas e Energia. (2025). Importação de energia por país – 2024 (quantidade). Sistema de Informações Energéticas – SIE Brasil. Disponível em: bit.ly/3ObCqC5

Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. (2025a). ComexStat: Estatísticas de comércio exterior [Base de dados]. Secretaria de Comércio Exterior. Disponível em: bit.ly/4qWPc60

Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. (2025b). Estatísticas do Comércio Exterior. [Planilha de dados]. Secretaria de Comércio Exterior. Disponível em: bit.ly/4azzsjE

Ministério do Trabalho e Emprego. (2025). RAIS – Relação Anual de Informações Sociais: Microdados [Base de dados]. Disponível em: bit.ly/45P5tBl

Neville, A.M. (2011). Properties of concrete 5th ed. Harlow, England; New York: Pearson.
Observatório do Clima. (2023). Relatório analítico SEEG 2023: Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil. São Paulo: Observatório do Clima. Disponível em: bit.ly/4tnAsyJ

OECD (2025a), OECD Steel Outlook 2025, OECD Publishing, Paris, Disponível em: bit.ly/3NZFBwO

OECD. (2025b). Hydrogen in steel: Addressing emissions and dealing with overcapacity (OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 174). OECD Publishing. Disponível em: bit.ly/45Q6Ekd

Pacheco-Torgal, F., Cabeza, L. F., Labrincha, J., & De Magalhaes, A. G. (2014). Eco-efficient construction and building materials: life cycle assessment (LCA), eco-labelling and case studies. woodhead Publishing.

Rissman, J., Bataille, C., Masanet, E., Aden, N., Morrow III, W. R., Zhou, N., ... & Helseth, J. (2020). Technologies and policies to decarbonize global industry: Review and assessment of mitigation drivers through 2070. Applied energy, 266, 114848. Disponível em: bit.ly/4kjCw6F

Schmid, M., Barros, A., Costa, F. & Rieth, L. (2024). Carvão vegetal no Brasil: uma visão panorâmica do mercado e suas perspectivas. Disponível em: bit.ly/46CQc79

Schorcht, F., Kourti, I., Scalet, B. M., Roudier, S., & Sancho, L. D. (2013). Best available techniques (BAT) reference document for the production of cement, lime and magnesium oxide. European Commission Joint Research Centre Institute for Prospective Technological Studies, Luxembourg, 506. Disponível em: bit.ly/3O1zo3t

Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. SEEG (2024). Nota metodológica do Sistema de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa no Brasil (1970-2023): Processos Industriais e Uso de Produtos (PIUP). Instituto de Energia e Meio Ambiente. Disponível em: bit.ly/4bGrLcq

Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. (SEEG) (2025). Observatório do Clima. bit.ly/4rBPuzk

Selim, T. H., & Salem, A. S. (2014). Global cement industry: competitive and institutional frameworks. In *Econometric Methods and Their Applications in Finance, Macro and Related Fields* (pp. 511-531). Disponível em: bit.ly/4cfcOOL

Shahabuddin, M., Brooks, G. & Rhamdhani, M.. (2023). Decarbonisation and hydrogen integration of steel industries: Recent developments, challenges and technoeconomic analysis. *Journal of Cleaner Production*. 395.

Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. (SNIC). (2021). *Números da Indústria*. Disponível em: bit.ly/4aFPXK3

Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. (SNIC). (2023). *Relatório anual 2023*. SNIC. Disponível em: bit.ly/4ttTcwH

Sindicato da Indústria de Ferro no Estado de Minas Gerais. (2024). *Anuário estatístico: Ano base 2023*. SINDIFER. Disponível em: bit.ly/4rF3t7u

Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. (2024). *Relatório anual 2024*. Disponível em: bit.ly/4ajlDDo

Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. (SNIC). (2025). *Banco de dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção*. [Base de dados]. Disponível em: bit.ly/4kjUKoR

Streck, P. A., Passos, M. D. O., Tessmann, M. S., Trescher, A. R., Uhr, D. D. A. P., & Marques, M. L. (2024). Interrelationship and volatility dynamics among the seven main NYSE mineral ETFs. *Economies*, 12(12), 322. Disponível em: bit.ly/4tjN4HO

Stripple, H., Ljungkrantz, C., Gustafsson, T., & Andersson, R. (2025). CO₂ uptake in cement-containing products: Background and calculation models for implementation in national greenhouse gas emission inventories. Disponível em: bit.ly/3Othvuk

Thiel, G. P., & Stark, A. K. (2021). To decarbonize industry, we must decarbonize heat. *Joule*, 5(3), 531-550. Disponível em: bit.ly/45Q78qx

UNFCCC. (2023). *Outcome of the first global stocktake. Draft decision (CMA-2023-L-17-Advance)*. United Nations Framework Convention on Climate Change. Disponível em: bit.ly/4ckMfHQ

Uratani, J. M., & Griffiths, S. (2023). A forward-looking perspective on the cement and concrete industry: Implications of growth and development in the Global South. *Energy Research & Social Science*, 97, 102972. Disponível em: bit.ly/4ko1CS6

U.S. Energy Information Administration. (2023). *Biomass explained*. Disponível em: bit.ly/3Zm1kBC

U.S. Geological Survey. (2025). Cement. In Mineral Commodity Summaries 2025. U.S. Geological Survey. Disponível em: bit.ly/3ZSbDOf

Valderrama, C., Granados, R., Cortina, J. L., Gasol, C. M., Guillem, M., & Josa, A. (2012). Implementation of best available techniques in cement manufacturing: a life-cycle assessment study. *Journal of Cleaner Production*, 25, 60-67.

Viana, F. L. E. (2025). INDÚSTRIA SIDERÚRGICA: v. 10 n. 380, março, 2025. Caderno Setorial ETENE, 10. Disponível em: bit.ly/46qr57v

Volaity, S. S., Aylas-Paredes, B. K., Han, T., Huang, J., Sridhar, S., Sant, G., ... & Neithalath, N. (2025). Towards decarbonization of cement industry: a critical review of electrification technologies for sustainable cement production. *npj Materials Sustainability*, 3(1), 23. Disponível em: bit.ly/3Mpx85w

Werner, D., & Lazaro, L. L. B. (2023). The policy dimension of energy transition: The Brazilian case in promoting renewable energies (2000–2022). *Energy Policy*, 175, 113480. Disponível em: bit.ly/4a2q5J1

Woodall, C. M., Fan, Z., Lou, Y., Bhardwaj, A., Khatri, A., Agrawal, M., ... & Friedmann, S. J. (2022). Technology options and policy design to facilitate decarbonization of chemical manufacturing. *Joule*, 6(11), 2474-2499. Disponível em: bit.ly/4cfxru9

World Bank. (2019). GDP per capita, PPP (constant 2011 international \$). World Development Indicators (WDI), Data Catalog. Disponível em: bit.ly/45MM9VG

World Steel Association. (WSA) (2022). Hydrogen (H₂)-based ironmaking: Fact sheet. Disponível em: bit.ly/4r8ADwk

World Steel Association (WSA) (2023). Steel and raw materials (Fact sheet). Disponível em: bit.ly/4aBQxJK

