

**H2BRASIL**

Expansão do Hidrogênio Verde

.....

# Transição Energética Justa para Indústrias no Brasil:

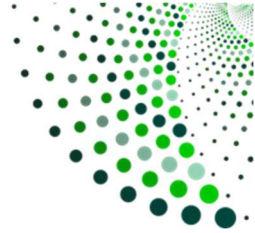
## Tecnologia e critérios sustentáveis para a indústria siderúrgica

.....



MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA





## Projeto H2Brasil

---

### Ministério de Minas e Energia (MME)

**Ministro**

Alexandre Silveira de Oliveira

**Secretário Executivo**

Arthur Cerqueira Valerio

**Secretário Nacional de Transição Energética e Planejamento**

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

**Diretora do Departamento de Transição Energética**

Karina Araújo Sousa

### Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

**Diretor Nacional**

Jochen Quinten

**Diretor do Cluster Energia e Transformação Urbana e do Projeto H2Brasil**

Markus Francke

**Coordenador de Componente do Projeto H2Brasil**

Andrej Frizler

---

**Data** Outubro/2024.

### Contatos

**MME**

Esplanada dos Ministérios,

Bloco U, Brasília/DF

CEP 70065-900

Telefone: (61) 2032-5555

[www.gov.br/mme](http://www.gov.br/mme)

**GIZ**

SCN Quadra 1 Bloco C Sala 1501,

15º andar, Ed. Brasília Trade Center.

CEP 70711-902, Brasília-DF, Brasil

Telefone: (61) 2101-2170

[www.giz.de/brasil](http://www.giz.de/brasil)

Realização  
**NIRÁS**

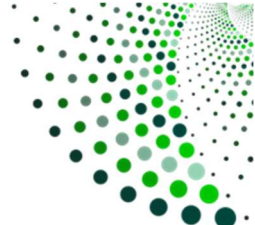


Por meio do  
**giz** Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

**H2BRASIL** Expansão do Hidrogênio Verde

MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA





## Coordenação da Publicação

**MME**

*Patricia Naccache Martins da Costa*

**GIZ**

*Andrej Frizler  
Aschkan Davoodi Memar  
Luciano da Silva*

**NIRAS**

*Felipe Andrés Toro Chacón (Team Leader)  
Marcus Regis Silva (Coordenador)  
Tayane Belo (Coord. Admin)*

---

## Execução

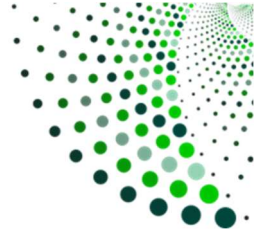
**CEBRI**

*Rafaela Guedes (Senior Fellow)  
Guilherme Dantas (Pesquisador Senior)  
Bruna Targino (Pesquisadora)  
Yuri Telles (Pesquisador)  
Léa Reichert (Diretora Adjunta de Projetos)  
Gustavo de Góes Bezerra (Coordenador de Projetos)  
Felipe Cristovam (Assistente de Projetos)*

---



## Informações legais

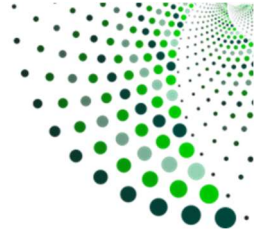


*Este trabalho foi realizado pelo projeto H2Brasil que integra a Cooperação Brasil-Alemanha para o Desenvolvimento Sustentável e é implementado pela Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH e o Ministério de Minas e Energia do Brasil (MME) com recursos do Ministério Federal da Cooperação Econômica e do Desenvolvimento (BMZ) da Alemanha. Contudo, o conteúdo deste trabalho não corresponde necessariamente ao posicionamento do MME.*

*Todas as indicações, dados e resultados deste estudo foram compilados e cuidadosamente revisados pelo/a(s) autoras/es. Apesar disso, podem ocorrer erros com relação ao conteúdo. Dessa forma, nem a GIZ ou a(s)/o(s) autoras/es podem ser responsabilizadas/os por qualquer reivindicação, perda ou prejuízo, direto ou indireto, resultante do uso ou da confiança depositada sobre as informações contidas neste estudo que sejam, direta ou indiretamente, resultante dos erros, imprecisões ou omissões de informações deste estudo.*

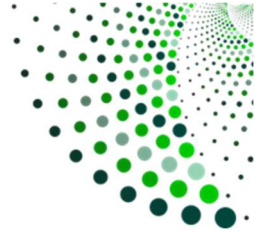
*A duplicação ou reprodução do todo ou de partes do estudo (incluindo a transferência de dados para sistemas de armazenamento de mídia) e distribuição para fins não comerciais é permitida, desde que a GIZ seja citada como fonte da informação. Para outros usos comerciais, incluindo duplicação, reprodução ou distribuição do todo ou de partes desta publicação, precisam de autorização escrita da GIZ.*





## Sumário

1.	Introdução	10
2.	Perspectivas da indústria do aço no mundo	11
2.1	A indústria siderúrgica no mundo	12
2.2	Rotas tecnológicas na indústria siderúrgica mundial e a busca pela descarbonização	13
2.2.1	Low Carbon Steel Proposal	15
2.2.2	Carbon Border Adjustment Mechanism - CBAM	16
2.2.3	Global Steel Climate Standard - GSCC	17
2.3	Competitividade	20
2.4	Transição Energética Justa na indústria siderúrgica	22
2.5	Cases em que a escolha da rota tecnológica de descarbonização leva em consideração aspectos da justiça social	27
2.5.1	Projeto Hybrit ( <i>Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology</i> )	27
2.5.2	Projeto de captura e armazenamento de carbono da Tata Steel	27
2.5.3	Projeto H2 Green Steel	28
2.6	Indicadores socioambientais na indústria siderúrgica mundial	28
3.	Perspectivas da indústria do aço no Brasil	34
3.1	A indústria siderúrgica no Brasil	34
3.2	Rotas tecnológicas na indústria siderúrgica brasileira	35
3.3	Aço de baixa emissão no Brasil	36
3.4	Transição Energética Justa na siderurgia brasileira	37
3.5	Indicadores socioambientais na indústria siderúrgica brasileira	39
4.	Resultados das entrevistas com <i>stakeholders</i>	45
4.1	Entrevistas com <i>stakeholders</i>	45
4.2	Indicadores socioambientais relatados pelos <i>stakeholders</i>	46
4.3	Nível de consenso entre os <i>stakeholders</i>	49
4.3.1	Alto consenso	49
4.3.2	Baixo consenso	50
5.	Conclusão	51
6.	Recomendações	53
6.1	Requalificação e Capacitação dos Trabalhadores	53
6.2	Participação das Comunidades e Diálogo Social	53
6.3	Incentivos para a Adoção de Tecnologias Verdes	53
6.4	Distribuição Justa dos Benefícios da Transição Energética	53
6.5	Monitoramento e Transparência nos Impactos Socioambientais	53
	Lista de abreviações	55
7.	Referências	56
8.	Anexo	62

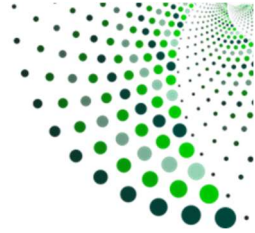


## Lista de figuras

<i>Figura 1: Produção primária e secundária de aço por rota tecnológica e seus insumos energético</i>	14
<i>Figura 2: Distribuição global das empresas siderúrgicas que consideram questões climáticas em seus processos de tomada de decisão</i>	15
<i>Figura 3: Projetos de tecnologias para produção de aço de baixo carbono</i>	20
<i>Figura 4: Comparação dos indicadores de sustentabilidade mencionados pelos entrevistados</i>	47

## Lista de tabelas

<i>Tabela 1: Custos de produção de aço por rota tecnológica</i>	21
<i>Tabela 2: Indicadores avaliados pela World Steel Association entre 2004 e 2022</i>	28
<i>Tabela 3: Relatório de Sustentabilidade da WSA (Charter 9 principles and 20 criteria)</i>	29
<i>Tabela 4: Indicadores socioambientais</i>	31
<i>Tabela 5: Diretrizes Net Zero Guidelines</i>	33
<i>Tabela 6: Produtores de aço no Brasil</i>	35
<i>Tabela 7: Certificação das empresas siderúrgicas brasileiras</i>	36
<i>Tabela 8: Indicadores sociais na siderurgia no Brasil</i>	40
<i>Tabela 9: Indicadores ambientais considerados na siderurgia no Brasil</i>	43
<i>Tabela 10: Projetos ativos de tecnologias para produção de aço de baixa emissão</i>	62



## Sumário executivo

### Contexto

Este estudo está inserido no contexto do projeto H2Brasil, uma iniciativa da Cooperação Brasil-Alemanha para o Desenvolvimento Sustentável, implementada pelo Ministério de Minas e Energia (MME) do Brasil e a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. O objetivo central do projeto H2Brasil é apoiar o desenvolvimento sustentável de um mercado de hidrogênio de baixa emissão no Brasil compatível com uma transição energética justa.

### Objetivo do estudo

O objetivo específico desse relatório técnico é discutir critérios socioambientais adotados na avaliação da sustentabilidade da produção de aço, examinando o status quo da indústria siderúrgica brasileira e propondo possíveis pontos de aprimoramento no sentido de promover uma transição energética justa e inclusiva. Mais do que isso, busca-se examinar se estes indicadores são compatíveis com a promoção das mudanças requeridas para que o setor siderúrgico brasileiro adote práticas, não apenas compatíveis com a economia de baixo carbono, como também alinhadas aos objetivos de desenvolvimento sustentável, sobretudo aqueles de natureza social. Além disso, busca-se identificar oportunidades de aprimoramento dos critérios adotados pela produção siderúrgica.

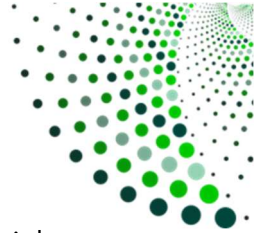
### A indústria siderúrgica

No contexto global da indústria siderúrgica, a produção de aço é um dos principais setores industriais responsáveis por emissões de gases de efeito estufa (GEE), representando aproximadamente 8% das emissões globais de CO<sub>2</sub>. A transição para tecnologias de baixo carbono na produção de aço, como o uso de hidrogênio de baixa emissão em substituição ao carvão, é vista como essencial para atingir as metas de neutralidade climática, conforme previsto no Acordo de Paris. Globalmente, a indústria enfrenta o desafio de equilibrar competitividade com inovação tecnológica para reduzir emissões, enquanto diversos países e empresas desenvolvem soluções específicas para tornar a produção de aço mais sustentável.

No Brasil, a indústria siderúrgica desempenha um papel importante na economia, sendo um dos principais produtores de aço na América Latina. No entanto, as características locais da produção de aço, incluindo a dependência de carvão, criam desafios específicos para a descarbonização. A transição para tecnologias como a captura e armazenamento de carbono (CCS) e o uso de hidrogênio de baixa emissão são fundamentais para reduzir as emissões. A vantagem competitiva do Brasil reside em sua matriz energética predominantemente renovável, o que pode facilitar a implementação dessas novas tecnologias, mas ainda há barreiras significativas, como os altos custos de infraestrutura e o desenvolvimento tecnológico.

### Transição energética justa na indústria siderúrgica

Para além da agenda de descarbonização, é fundamental ampliar a discussão sobre sustentabilidade. A incorporação de critérios socioambientais na indústria, como criação



de empregos dignos, uso eficiente dos recursos, uso do solo, equidade salarial e a participação da sociedade civil é fundamental para avaliar os impactos da transição sobre indivíduos e comunidades, pois há aspectos negativos e positivos que podem ser distribuídos desigualmente entre diferentes atores sociais.

No que tange ao caráter justo que esta transição energética do setor siderúrgico precisa ter, além do uso e do manejo sustentável da água e da terra, é essencial que existam ganhos em termos de geração de renda e emprego para populações locais. Neste sentido, a capacitação de mão de obra e o desenvolvimento de comunidades locais são estratégias vitais. Em linhas gerais, trata-se de incluir as comunidades na transição energética, garantindo que o desenvolvimento econômico seja acompanhado por projetos de formação profissional voltados para o novo contexto industrial, sobretudo em regiões historicamente desfavorecidas, como o Nordeste, que estão sendo priorizadas para novos investimentos e para a criação de hubs industriais focados em descarbonização.

## Recomendações

Para tanto, recomenda-se a implementação de um sistema robusto de monitoramento dos impactos socioambientais associados à descarbonização, com ampla participação das comunidades locais e dos sindicatos no processo decisório. Isso é importante para garantir que os benefícios econômicos e sociais gerados pela descarbonização sejam distribuídos de forma equitativa. Além disso, políticas públicas e mecanismos de financiamento acessíveis são necessários para fomentar a criação de empregos verdes, melhorar as condições de trabalho e desenvolver iniciativas que favoreçam as regiões mais vulneráveis no país.

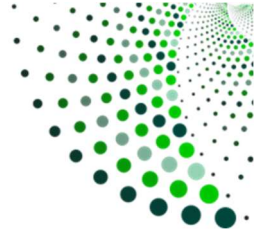
Ao avaliar o caso brasileiro, apesar de suas vantagens comparativas, como a matriz energética limpa, o setor siderúrgico enfrenta desafios para garantir sua competitividade internacional no contexto da transição energética. A adoção de novas tecnologias depende de investimentos significativos em infraestrutura e pesquisa, bem como de políticas públicas que incentivem a descarbonização. A transição energética deve ser justa e inclusiva, considerando os impactos sociais e econômicos, principalmente nas regiões dependentes do setor industrial.

Nesse sentido, diante da dificuldade de garantir a competitividade do setor, políticas direcionadas devem ser adotadas para abordar as lacunas de justiça e inclusão na transição energética. Será essencial definir diretrizes para uma transição energética justa que orientem as empresas siderúrgicas para uma produção mais sustentável, independentemente das rotas tecnológicas utilizadas. Essas diretrizes devem considerar aspectos sociais e ambientais ao longo de toda a cadeia de valor tanto das tecnologias tradicionais quanto das que ainda estão em discussão, incluindo as comunidades afetadas na construção dessas soluções a fim de evitar a reprodução das desigualdades intrínsecas aos sistemas energéticos atuais.

## Conclusão

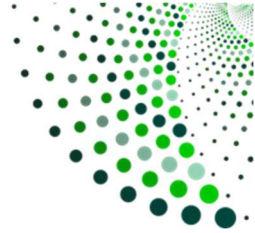
Analisar o contexto da siderurgia brasileiro é essencial para identificar desafios e oportunidades que viabilizam a promoção de uma transição energética justa no setor. Além dos ganhos climáticos, essa mudança pode contribuir para a redução de





desigualdades socioeconômicas, oferecer maior proteção social, atrair investimentos, bem como impulsionar o progresso dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Este relatório reforça a necessidade de uma abordagem integrada para a transição energética no setor siderúrgico brasileiro, alinhando-se à discussão internacional sobre transição justa e aos princípios estabelecidos pelo G20, assegurando que ninguém seja “deixado para trás” nesse processo, especialmente os grupos mais vulneráveis. A cooperação internacional, como exemplificado no projeto H2Brasil, desempenha um papel crucial no desenvolvimento de tecnologias e políticas que promovam a sustentabilidade e a inclusão social. A transição para uma economia de baixo carbono no Brasil é uma oportunidade estratégica, mas requer uma combinação de investimentos, incentivos governamentais e inovação tecnológica.



## 1. Introdução

Este estudo está inserido no contexto do projeto H2Brasil, o qual integra a Cooperação Brasil-Alemanha para o Desenvolvimento Sustentável e é implementado pela Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH e pelo Ministério de Minas e Energia (MME), financiado pelo Ministério Federal da Cooperação Econômica e Desenvolvimento (BMZ) da Alemanha, e que visa apoiar o desenvolvimento do mercado de H2V no país.

Com aplicações nos mais diversos segmentos econômicos (construção civil, tubulações, veículos, máquinas industriais, equipamentos de energia etc.), a indústria de aço é de extrema relevância para a economia mundial (Kim et al. 2022). No entanto, o setor é uma fonte relevante de gases de efeito estufa (GEE). A produção de aço é responsável por aproximadamente 8% das emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub> e quase 30% das emissões associadas ao setor industrial, o que torna o setor essencial para alcançar as metas de descarbonização estabelecidas pelo Acordo de Paris (Wright et al. 2023; IEA 2020).

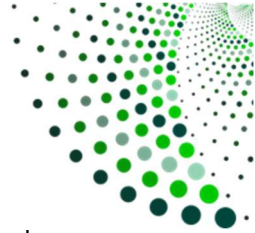
Notadamente, a indústria siderúrgica é tida como um setor de difícil descarbonização (hard-to-abate) devido à natureza dos processos industriais envolvidos na produção de aço, que operam em altas temperaturas e utilizam, sobretudo, carvão e coque como insumos energéticos (Energy Institute 2023). Além disso, a longa vida útil dos ativos e a alta intensidade de capital aumentam a complexidade de descarbonização do setor (Skoczkowski et al. 2020).

Considerando que a indústria siderúrgica objetiva reduzir as emissões do aço primário entre 45% e 65% no aço secundário até 2030 e zerar suas emissões líquidas de carbono até 2050, é perceptível o tamanho do desafio que o setor está deparado (World Economic Forum 2023). A substituição parcial ou total de carvão por outros insumos energéticos menos intensivos em carbono, como gás natural e bioenergia<sup>1</sup>, bem como a eletrificação, têm sido amplamente discutidas como alternativas para reduzir a dependência de combustíveis fósseis para produção de aço, sem abandonar as rotas tecnológicas comerciais disponíveis (IEA 2020). Entre as opções tecnológicas promissoras para alcançar essas metas, destacam-se a redução direta de ferro com hidrogênio verde (H<sub>2</sub>-DRI); o uso de tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCS) e a injeção de biomassa em altos-fornos (Swennenhuis, de Gooyert, and de Coninck 2022). A longo prazo, a produção baseada em hidrogênio se destaca devido ao seu potencial de reduzir significativamente as emissões, com o objetivo de alcançar a neutralidade climática até 2050.

Além disso, a incorporação de critérios socioambientais na indústria como criação de empregos, uso eficiente dos recursos, uso do solo, equidade salarial e a participação da sociedade civil é fundamental para avaliar os impactos da transição sobre indivíduos e comunidades, pois há aspectos negativos e positivos que podem ser distribuídos desigualmente entre atores sociais (Swennenhuis, de Gooyert, and de Coninck 2022). Nestas bases, é perceptível que a implementação de critérios desta natureza é fundamental para o auferimento se a dinâmica da promoção da economia verde está efetivamente promovendo uma transição energética justa e sustentável, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODSs) (Labanca et al. 2020).

---

<sup>1</sup> Energia obtida através de biomassa.



Nesse sentido, o objetivo deste relatório é discutir critérios socioambientais adotados na avaliação da sustentabilidade da produção de aço, examinando o status quo da indústria siderúrgica brasileira e propondo possíveis pontos de aprimoramento no sentido de promover uma transição energética justa e inclusiva. Mais do que isso, busca-se examinar se estes indicadores são compatíveis com a promoção das mudanças requeridas para que o setor siderúrgico brasileiro adote práticas, não apenas compatíveis com a economia de baixo carbono, como também alinhadas aos objetivos de desenvolvimento sustentável, sobretudo aqueles de natureza social. Além disso, busca-se identificar oportunidades de aprimoramento dos critérios adotados pela produção siderúrgica. Para atingir os objetivos descritos, o estudo baseou-se em uma abordagem qualitativa através de uma revisão da literatura sobre o tema, consultando artigos científicos, relatórios de sustentabilidade e outras publicações especializadas. Paralelamente, foram realizadas entrevistas com especialistas no setor siderúrgico brasileiro, oferecendo uma perspectiva holística sobre diferentes stakeholders que atuam no setor.

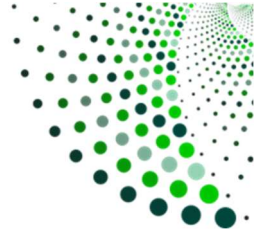
A primeira seção deste relatório consiste em uma revisão bibliográfica acerca da situação atual da indústria mundial de aço, sobretudo no que tange ao paradigma tecnológico e suas alternativas de descarbonização. Em seguida, discute-se a competitividade de diferentes rotas tecnológicas consideradas para produção de aço de baixa emissão. Além disso, a seção aborda as concepções sobre uma transição energética justa na siderurgia, apresentando os principais indicadores socioambientais presentes na literatura especializada. Nesse contexto, discute-se o conceito de justiça social e se o mesmo é levado em consideração na escolha das rotas de descarbonização.

A segunda seção busca caracterizar a indústria siderúrgica brasileira. Mais do que identificar suas características tecnológicas e iniciativas para descarbonização, esta seção visa realizar um diagnóstico desta indústria em termos sustentabilidade socioambiental e, sobretudo, o alinhamento do setor siderúrgico brasileiro com a promoção de uma transição energética justa no país.

A terceira seção apresenta os resultados obtidos através de consultas com especialistas, realizadas por meio de entrevistas com stakeholders relevantes para a siderurgia brasileira. Essa etapa inclui a participação de empresas siderúrgicas, bancos, associações e organizações da sociedade civil, proporcionando uma visão holística sobre os desafios e as oportunidades para promover uma transição energética justa no setor. Por fim, esta última seção propõe o método mais adequado para o Brasil, sugerindo caminhos a serem adotados pela indústria do aço, oferecendo uma perspectiva robusta sobre a indústria siderúrgica e seus impactos para o Brasil.

## **2. Perspectivas da indústria do aço no mundo**

Nesta seção, apresentam-se os dados obtidos por meio da revisão bibliográfica sobre os aspectos gerais da indústria siderúrgica no mundo. O primeiro passo consiste no levantamento de dados sobre a produção e a comercialização mundial de aço, considerando suas aplicações no contexto da transição energética, bem como os principais países produtores e exportadores. Em seguida, discute-se as rotas tecnológicas tradicionais mais utilizadas e suas alternativas para descarbonização, com ênfase na produção de aço de baixo carbono e sua competitividade. Além disso, apresentam-se os instrumentos internacionais voltados para o controle de emissões,



com foco na certificação do aço de baixa emissão. Esta seção também discute as concepções de uma transição energética justa no setor siderúrgico e aborda os principais indicadores socioambientais presentes nos relatórios de sustentabilidade fornecidos por instituições internacionais que representam o setor siderúrgico, assim como na literatura especializada.

## 2.1 A indústria siderúrgica no mundo

Em 2023, a produção mundial de aço bruto foi de 1.888,2 Mt (WorldSteel Association 2024a). Os principais produtores<sup>2</sup> de aço são China (54%), Índia (7%), Japão (5%), EUA (4%) e Rússia (4%). O Brasil ocupou a 9ª posição no ranking mundial em 2023, o que corresponde a 1,7% da produção mundial de aço (Instituto Aço Brasil 2024b). A maior parte da produção é localizada na China, que, por aproximadamente uma década, concentra 48% da capacidade de produção mundial de aço (Bloomberg NEF 2024).

O aço é uma das commodities mais comercializadas em termos de produção, consumo e transporte (World Steel Association 2023a). Em 2023, aproximadamente 25% do aço produzido foi negociado no comércio internacional, com destaque para a União Europeia como principal importador líquido, seguida pelos EUA (World Steel Association 2024b). A variedade de aços disponíveis no mercado deve-se ao fato de que suas diferentes aplicações exigem adaptações tanto na sua forma de produção quanto na sua composição química (Instituto Aço Brasil 2024c). Nesse sentido, o mercado de aço é altamente segmentado, com destaque para quatro categorias principais: aços carbono<sup>3</sup>, aços ligados ou especiais, aços inoxidáveis e aços ferramenta<sup>4</sup> (Bloomberg NEF 2024). Outra forma de classificação é quanto à sua forma geométrica, dividindo-se principalmente entre semiacabados, produtos planos e produtos longos, variando de acordo com a sua aplicação nos setores automotivos, da construção civil, entre outros<sup>5</sup> (Instituto Aço Brasil 2024).

Diante do contexto de transição energética, estima-se que a demanda por aço continuará a crescer até 2050 (Watari and McLellan 2024). Além de suas aplicações convencionais, o aço será fundamental para a fabricação de tecnologias limpas e para fornecer a infraestrutura necessária para uma economia de baixo carbono. Isso envolve a produção de painéis solares, veículos elétricos e turbinas eólicas (ArcelorMittal 2024).

Concomitantemente, observam-se crescentes exigências pela descarbonização da cadeia produtiva do aço impulsionada por regulações mais restritivas e exigências do setor financeiro que impactam principalmente as empresas de capital aberto que são obrigadas a dar transparência por meio dos seus relatórios financeiros e de

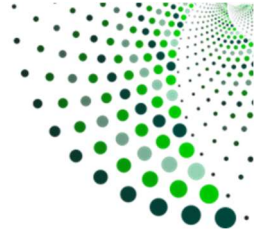
---

<sup>2</sup> Dados referentes à produção de aço bruto em 2023. Para mais detalhes, ver Anuário Estatístico 2024, Instituto Aço Brasil. Disponível em: <https://acobrasil.org.br/site/publicacoes/>.

<sup>3</sup> O aço carbono representa a maior parte da produção mundial de aço devido à sua ampla variedade de aplicações, resistência e baixo custo (Bloomberg NEF 2024).

<sup>4</sup> Aço carbono é uma liga metálica composta por ferro e carbono, utilizada principalmente na indústria e na construção civil. Aços ligados recebem adicionalmente elementos de liga em sua composição (cobre, alumínio etc.). Aço inoxidável contém 10-20% de cromo e outros elementos, como níquel. Aços ferramenta são aços de carbono ou alta liga utilizados para ferramentas, equipamentos de corte e perfuração (Instituto Aço Brasil 2024). Disponível em: <https://acobrasil.org.br/site/produtos>.

<sup>5</sup> Produtos semiacabados podem ser placas, blocos, tarugos. Os produtos planos são comercializados na forma de chapas, por exemplo. Produtos longos são utilizados na construção civil, como vergalhões. Para mais detalhes, consultar Instituto Aço Brasil. Disponível em: <https://acobrasil.org.br/site/produtos>.



sustentabilidade sobre o seu padrão de emissões de gases de efeito estufa e suas trajetórias de neutralidade alinhando-se ao acordo de Paris. Entretanto, a produção de aço de baixo carbono ainda representa uma fração ínfima do mercado mundial. Como ilustração, em 2022, a demanda por aço de baixo carbono representou menos de 1% do mercado (World Economic Forum 2023).

## 2.2 Rotas tecnológicas na indústria siderúrgica mundial e a busca pela descarbonização

Os métodos tradicionais de produção de aço são altamente dependentes de combustíveis fósseis<sup>6</sup> (Statista 2023). As principais rotas tecnológicas<sup>7</sup> para produção de aço no mundo são (Adams and Mueller 1982; IEA 2020):

- **BF-BOF:** Utiliza-se o alto forno (BF) e o forno de oxigênio básico (BOF) para atingir as temperaturas necessárias para transformar ferro bruto e carbono em aço. Os altos fornos tradicionais funcionam à base de carvão, gás e carvão vegetal, com e sem turbinas de recuperação de alta pressão, sem CCUS;
- **EAF:** Refere-se ao uso de fornos a arco elétrico (EAF) e fornos de indução, alimentados, principalmente, por sucata<sup>8</sup>;
- **DRI-EAF:** Utiliza agentes redutores à base de carbono, como carvão, coque e gás natural, que fornecem os elementos químicos para remover o oxigênio do minério de ferro. Esse processo inclui a redução direta do ferro (DRI), sem CCUS.

Cerca de 70% da produção global de aço depende diretamente do uso de carvão através da rota BF/BOF. As emissões de carbono incorporadas em uma tonelada de aço são fortemente influenciadas pelo insumo metálico utilizado. A siderurgia secundária, que utiliza sucata, apresenta uma pegada de carbono menor do que a siderurgia primária, baseada em minério de ferro (ArcelorMittal 2022a). As principais rotas tecnológicas utilizadas em 2022, de acordo com seus insumos energéticos adotados, são ilustradas pela figura abaixo (Bloomberg NEF 2024):

---

<sup>6</sup> Como ilustração desta dependência, o setor é responsável por 17% da demanda mundial por carvão (Statista 2023).

<sup>7</sup> Para mais detalhes, vide *Iron and Steel Technology Roadmap*. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/iron-and-steel-technology-roadmap>.

<sup>8</sup> Índia e China utilizam ferro como carga nos fornos de indução.

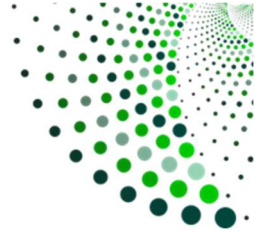
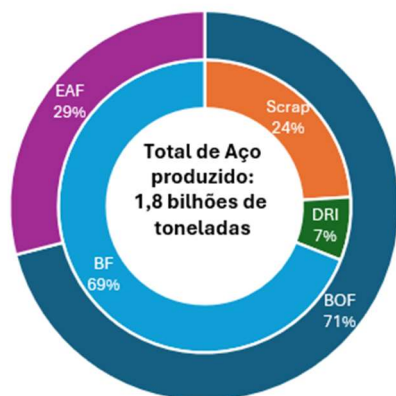
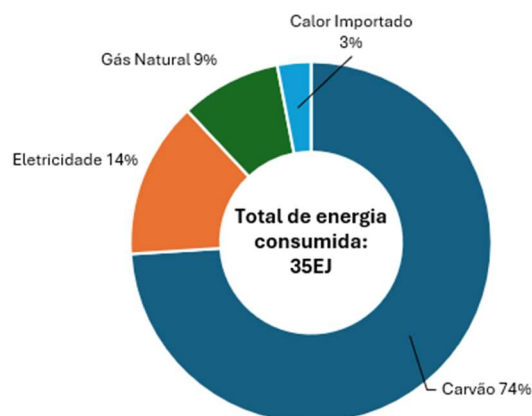


Figura 1: Produção primária e secundária de aço por rota tecnológica e seus insumos energéticos

Produção primária e secundária de aço em 2022, por processo



Energia consumida pela indústria siderúrgica em 2022, por tipo de combustível



Fonte: Bloomberg NEF, 2024

Atualmente, as exigências internacionais para produção de aço de baixo carbono contemplam o monitoramento das emissões em suas diferentes etapas, com ênfase no controle das emissões de CO<sub>2</sub>. Nesse sentido, há diversas iniciativas internacionais com propostas de certificação para produção de aço de baixo carbono. Esta seção apresenta exemplos de certificação que visam desenvolver um mercado diferenciado para o setor.

Um estudo realizado pela *Transition Pathway Initiative* (TPI) em 2023 afirma que aproximadamente 70% das empresas consideram as mudanças climáticas em sua tomada de decisões operacionais. O TPI<sup>9</sup> avaliou o grau de comprometimento das principais empresas siderúrgicas com a agenda climática, que pode ser classificado em quatro níveis, considerando o modo que gerenciam suas emissões de GEE e nos riscos e oportunidades associadas à descarbonização. De modo geral, nenhuma empresa siderúrgica desconsidera a importância das mudanças climáticas. Apenas 7% não apresentam dados suficientes ou não possuem metas para reduzir suas emissões, classificando-se no nível 1. Cerca de 15% estão na fase de elaboração de suas estratégias para lidar com as mudanças climáticas, compondo o nível 2. A maioria das empresas analisadas encontram-se no nível 3, que corresponde a 62%. Essas firmas consideram a agenda climática na tomada de decisões operacionais. No nível 4, aproximadamente 15% possuem uma avaliação estratégica para gerenciar suas emissões.

A figura abaixo representa a distribuição global dessas empresas ao redor do mundo, conforme seu grau de comprometimento com a busca pela redução das emissões de gases do efeito estufa:

<sup>9</sup> Estudo realizado pela Transition Pathway Initiative em 2023 envolveu a participação de 66 empresas. Para mais informações, vide: <https://www.transitionpathwayinitiative.org/sectors/steel>.



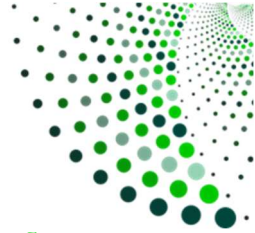
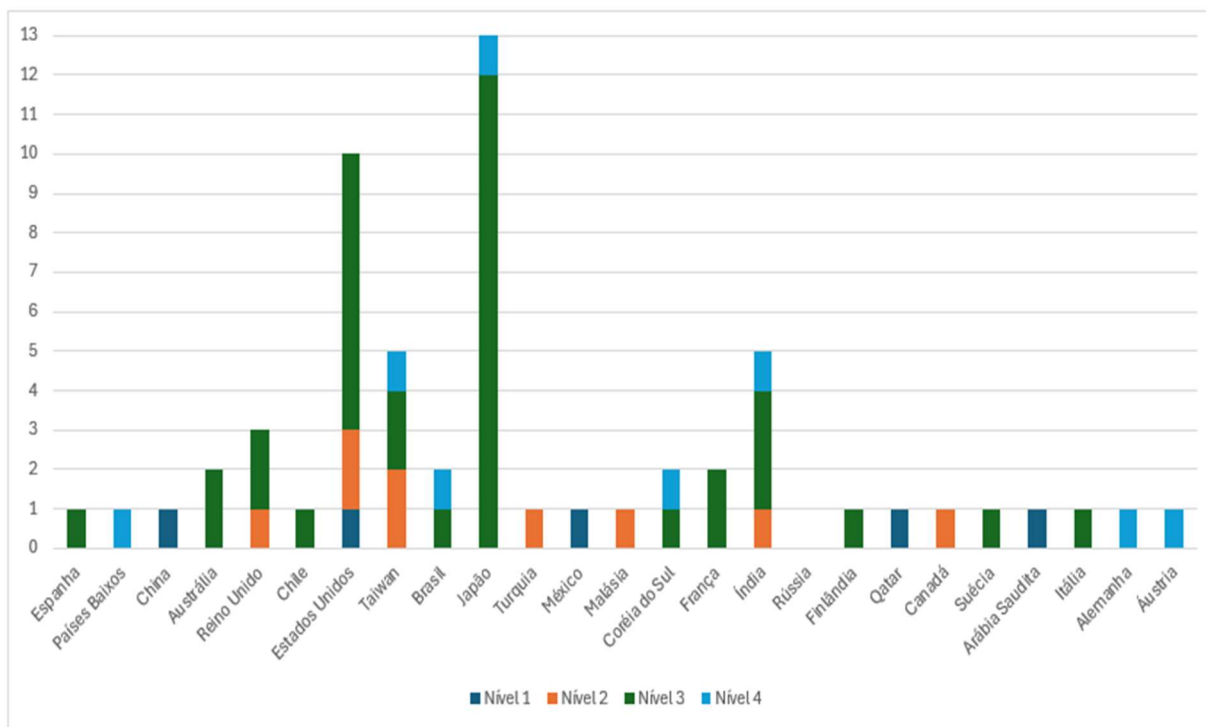


Figura 2: Distribuição global das empresas siderúrgicas que consideram questões climáticas em seus processos de tomada de decisão



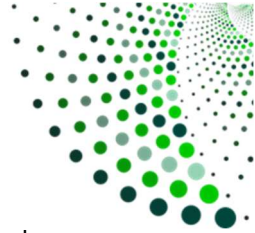
Fonte: TPI, 2023

Essa distribuição demonstra que diferentes regiões abordam a problemática da descarbonização com graus variados de comprometimento, resultando em abordagens diversas estratégias para o gerenciamento das emissões de GEE e a implementação de práticas sustentáveis. Nesse aspecto, destaca-se a necessidade de metodologias claras para a contabilização de emissões, bem como a definição de quais processos podem ser considerados como aço de baixa emissão (IEA 2023c). A seguir, são apresentados exemplos de certificações que propõem métodos de controle de emissões para a produção de aço tais como o *Low Carbon Steel adotado pela ArcelorMittal*, CBAM (Carbon Border Adjustment Mecanism) e o GSCS (Global Steel Climate Standards).

### 2.2.1 Low Carbon Steel Proposal

A proposta *Low Carbon Steel* da ArcelorMittal objetiva estabelecer um padrão global para a produção de aço de baixa emissão, oferecendo maior transparência para os clientes por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) ou Declaração Ambiental de Produtos (DAP) (ArcelorMittal 2022a). Dessa forma, há três princípios fundamentais em discussão:

- i) Uma abordagem de pontuação dupla que inclui a metodologia de ACV bem como um sistema de classificação de “níveis de descarbonização”. A criação de um selo para



- identificar tanto o fornecedor quanto o produto busca desenvolver um mercado diferenciado para o aço de baixa emissão, considerando o grau de descarbonização dos produtos siderúrgicos na tomada de decisão de *policymakers*, produtores e clientes;
- ii) Implementar mudanças tecnológicas em vez de priorizar apenas o consumo de sucata para reduzir as emissões. Para tanto, uma pontuação que classifique as tecnologias utilizadas na produção pode incentivar a descarbonização do setor. Dessa forma, a pontuação de um produtor de aço poderia variar de acordo com o grau de carbono incorporado em suas emissões por tonelada de aço. Há seis categorias cujas avaliações variam entre notas de A+ (*net zero steel*) até E- (acima do patamar mínimo), de modo que o produtor possa aumentar sua classificação à medida que avança na descarbonização.
  - iii) Definição de métricas comuns que permitam a comparação entre diferentes produções de aço de baixo carbono (ArcelorMittal 2022b).

### 2.2.2 Carbon Border Adjustment Mechanism – CBAM

A taxa é aplicada à importação de bens intensivos em carbono na União Europeia, como nos setores de cimento, fertilizantes, eletricidade, alumínio, ferro, aço e hidrogênio (Comissão Europeia 2023a). O CBAM pretende quantificar e precificar as emissões de GEE incorporadas nos produtos importados de países não membros do bloco, igualando o preço do carbono embutido nas importações ao preço que seria pago caso esses produtos fossem produzidos por países membros da União Europeia, que são submetidos ao regime *Emissions Trading System* (ETS). Nesse sistema de precificação, as empresas devem comprar licenças para suas emissões de CO<sub>2</sub> (Comissão Europeia 2024).

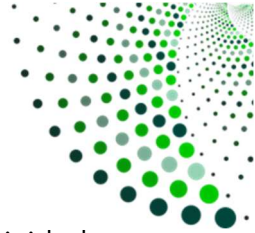
Os aspectos gerais do CBAM envolvem a declaração das rotas tecnológicas adotadas ao longo do processo produtivo. Além disso, o monitoramento das emissões diretas e indiretas da produção de aço deve constar nos relatórios, alocando as emissões tanto na produção como nos bens finais. Durante a fase de transição, que dura até 2025<sup>10</sup>, esses relatórios devem ser apresentados a cada trimestre. A União Europeia calculará o preço dos certificados, que deverão ser comprados com base no preço médio semanal dos leilões do ETS (Comissão Europeia 2023b), considerando:

- i) Emissões diretas liberadas durante a produção, provenientes da queima de combustíveis fósseis utilizados ao longo das etapas produtivas, desde o aço bruto. Isso inclui processos como reaquecimento, fundição, laminagem, soldagem, acabamento, entre outros (Escopo 1);

---

<sup>10</sup> A partir de 2026, será necessário comprar certificados CBAM, equivalentes às emissões de carbono embutidas nos produtos de aço importados.





- ii) Emissões indiretas associadas ao consumo de eletricidade na produção, assim como das emissões associadas à produção de eletricidade (Escopo 2);
- iii) Emissões indiretas relacionadas ao consumo de precursores, que são materiais ou produtos intermediários utilizados no processo de produção de aço (Escopo 3);
- iv) Fluxos de calor líquido mensurável, associados à quantidade de calor geradas na produção.

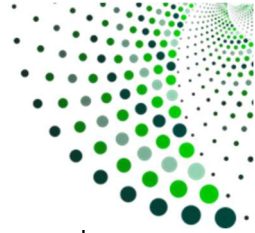
Ao avaliar os impactos do CBAM no contexto brasileiro, caso o país não atenda às exigências da União Europeia, a taxação pode gerar efeitos adversos para a produção nacional. Além de prejudicar a competitividade do aço brasileiro, o aumento dos custos de produção pode causar possíveis impactos negativos sobre o emprego e a renda das regiões cuja atividade econômica depende da produção siderúrgica. Esse cenário tende a agravar desigualdades socioeconômicas nessas áreas, o que pode aprofundar situações de vulnerabilidade nas comunidades afetadas. No entanto, é importante destacar que a União Europeia não é o principal mercado consumidor de aço brasileiro. Portanto, se apenas a União Europeia adotar essas exigências, existe a possibilidade da produção ser redirecionada para atender a outros mercados.

### 2.2.3 Global Steel Climate Standard – GSCC

A GSCC propõe o *Steel Climate Standard* para definir critérios de certificação de produtos para aço de baixa emissão, bem como metas de redução de emissão para produtores de aço. Nesse sentido, a instituição considera as projeções da IEA e as metas do Acordo de Paris para alcançar reduções setoriais. A certificação é orientada pelos seguintes princípios (Global Steel Climate Council 2023):

- i) Reduzir as emissões de GEE da indústria siderúrgica global;
- ii) Estabelecer um padrão que seja neutro em relação à tecnologia e ao método de produção utilizados;
- iii) Rigor científico alinhado com as projeções da IEA e as metas do Acordo de Paris para alcançar reduções setoriais;
- iv) Estabelecer limites de emissões de GEE que contemplem o Escopo 1, 2 e 3.
- v) Auditoria para verificação das metas, avaliando se estão de acordo com padrões sugeridos por estudos científicos;
- vi) Definir um padrão alinhado à trajetória necessária para alcançar um cenário de 1,5°C até o ano de 2050;
- vii) Fornecer informações relevantes sobre a produção de aço sustentável a fim de oferecer maior suporte para processos de tomada de decisão.

O objetivo do *Steel Climate Standard* é que o setor siderúrgico possa gradualmente diminuir suas emissões até atingir níveis muito baixos ou neutros em 2050. A revisão dessas metas ocorrerá a cada cinco anos para garantir que estejam alinhadas ao desenvolvimento tecnológico e ao avanço da produção, bem como à sua implementação na indústria siderúrgica.



Os modelos de certificação mencionados acima objetivam elevar o grau de transparência no que se refere ao controle de emissões de GEE, visando metas em comum para garantir que o mercado atenda às exigências regulatórias internacionais. Isso é fundamental para assegurar a existência de um mercado para o aço de baixa emissão, além de definir critérios sobre qual tipo de aço deve ser considerado como tal.

Partir de uma mesma metodologia pode permitir avaliações mais precisas sobre a intensidade das emissões ao longo do processo produtivo, oferecendo informações adicionais para o consumidor final considerar em sua tomada de decisão. Além disso, pode promover sinergias entre as plataformas de dados já existentes sobre emissões de GEE, incluindo estatísticas nacionais, bem como as estatísticas de instituições internacionais que representam o setor siderúrgico. Dessa forma, buscando avançar efetivamente na descarbonização da siderurgia, alinhando-se às metas climáticas para 2050 (IEA 2023c).

Apesar da atual participação limitada da produção do aço de baixa emissão, observa-se, nos últimos anos, um crescimento dos projetos voltados para o desenvolvimento de tecnologias de baixa emissão. (Swennenhuis, de Gooyert, and de Coninck 2022). E, devido à natureza intensiva em energia da indústria siderúrgica, a busca por fontes de menor intensidade em carbono, melhorias na eficiência e a economia de energia tem sido as principais prioridades do setor (Pathways et al. 2023).

Embora a rota EAF à base de sucata tenha potencial de reduzir as emissões, essa tecnologia enfrenta desafios como a escassez de sucata, a necessidade de minério de ferro de alto teor e questões relacionadas à qualidade do produto. Esses obstáculos tornam improvável que o EAF possa substituir totalmente o BF (Transition Asia 2023).

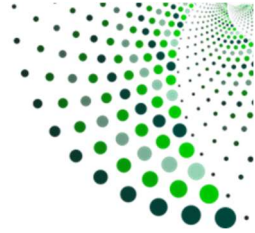
Nesse sentido, outras rotas tecnológicas promissoras para a redução das emissões do setor estão em discussão. Entre elas, destacam-se o uso de tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCS); a produção de aço baseada em biomassa e a redução direta de ferro com hidrogênio verde (H-DRI). O potencial de descarbonização das tecnologias de CCS<sup>11</sup> é promissor, podendo reduzir as emissões em até 70% (IEA 2023). Essa tecnologia pode ser aplicada em plantas que utilizam diferentes fontes emissoras no setor siderúrgico, mas é considerada principalmente para os altos-fornos, que são uma das principais fontes de CO<sub>2</sub>. Adaptar as instalações siderúrgicas existentes para o uso de CCS pode prolongar o seu tempo de vida, no entanto, a sua expansão enfrenta desafios como custo elevado e questões relacionadas ao transporte e armazenamento seguro de CO<sub>2</sub> (Bandilla 2020).

Já o uso de biomassa<sup>12</sup>, se combinado com mecanismos de captura de carbono, possui o potencial de redução das emissões em até 50% (IEA 2023). No Brasil, há altos-fornos que operam atualmente utilizando biomassa ou carvão vegetal, que podem substituir combustíveis fósseis em diferentes partes do processo siderúrgico (World Steel Association 2021a). Por exemplo, a biomassa pode ser utilizada na forma de biocoque como agente redutor (Aaskov 2022). Além da disponibilidade de biomassa, que depende de circunstâncias locais, o desafio está em desenvolver cadeias de suprimento robustas

---

<sup>11</sup> Atualmente existem atualmente 33 instalações comerciais de CCS em operação globalmente (WSA 2023). Mais informações disponíveis em: [https://worldsteel.org/wp-content/uploads/Carbon-Capture-Storage\\_2023](https://worldsteel.org/wp-content/uploads/Carbon-Capture-Storage_2023).

<sup>12</sup>Mais informações disponíveis em: [worldsteel.org/biomass-in-steelmaking](https://worldsteel.org/biomass-in-steelmaking).



para colher grandes volumes de biomassa, convertê-la e processá-la para uso nas instalações siderúrgicas (World Steel Association 2021).

A produção de aço à base de hidrogênio<sup>13</sup> verde, por sua vez, tem sido considerada uma das soluções mais promissoras devido à sua capacidade de reduzir drasticamente as emissões para alcançar a neutralidade climática até 2050 (IEA 2023). A siderurgia baseada em hidrogênio é uma indústria emergente. Embora outras possibilidades como a injeção de hidrogênio em altos-fornos estejam sendo investigada, o uso de hidrogênio como gás redutor no processo de redução direta de ferro (DRI) destaca-se como uma alternativa mais consolidada para o setor. Essa abordagem substitui os tradicionais agentes à base de carbono, como carvão e gás natural, oferecendo maior potencial para a descarbonização da siderurgia (Ribeiro Gomes et al., 2024). No entanto, essa rota enfrenta desafios significativos, incluindo questões de segurança, infraestrutura e custos elevados (World Steel Association 2022).

Além dos desafios mencionados, essas tecnologias também possuem prazos distintos para que sejam implementadas em larga escala (Swennenhuis, de Gooyert, and de Coninck 2022). Ainda assim, demonstram um grau de maturidade superior em comparação com outras rotas tecnológicas<sup>14</sup> alternativas (IEA 2023). Progressos substanciais em projetos-piloto e inovação estão em andamento. A figura abaixo ilustra os principais projetos ativos para produção de aço de baixa emissão no mundo, destacando a distribuição global dessas iniciativas, de acordo com a *Green Steel Tracker*<sup>15</sup> (2023):

---

<sup>13</sup> Mais informações disponíveis em: [worldsteel.org/fact-sheet-hydrogen-ironmaking](https://worldsteel.org/fact-sheet-hydrogen-ironmaking).

<sup>14</sup> Para mais informações, ver *ETP Clean Energy Technology Guide*. Disponível em <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/etp-clean-energy-technology-guide>.

<sup>15</sup> Detalhes adicionais como as principais empresas envolvidas e o ano de início de operação de cada projeto encontram-se no anexo. Para mais informações, consulte o *Green Steel Tracker*, disponível em: <https://www.industrytransition.org/green-steel-tracker/>.

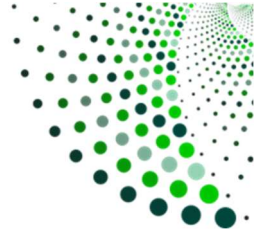
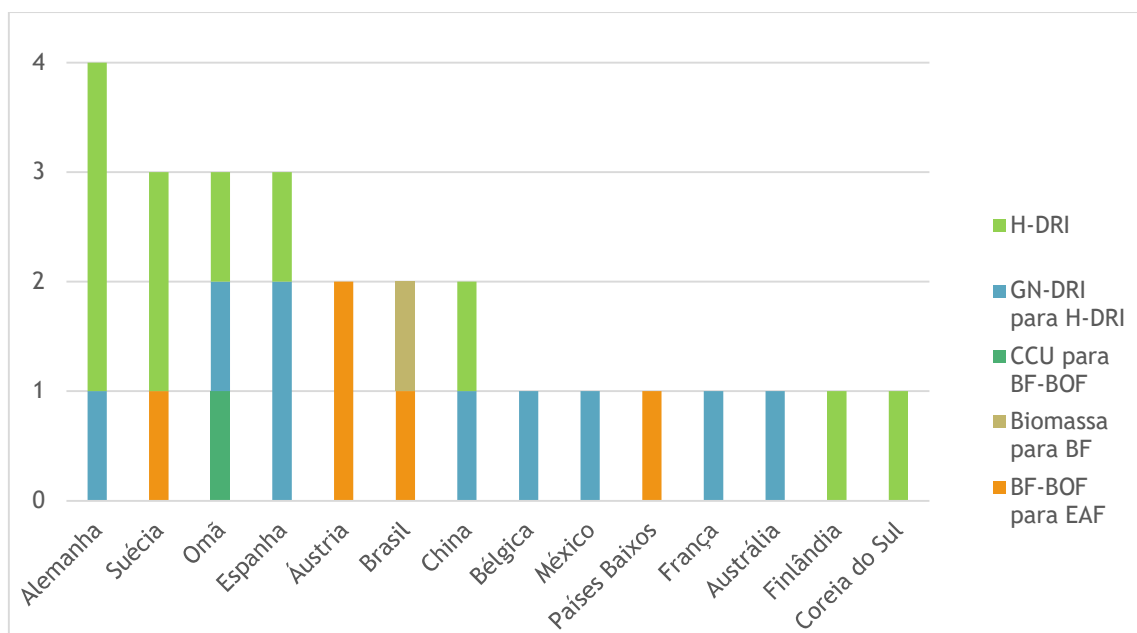


Figura 3: Projetos de tecnologias para produção de aço de baixo carbono



Fonte: Green Steel Tracker, 2023

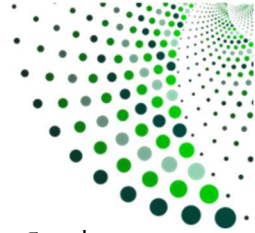
Os principais projetos ativos consideram a utilização de tecnologias de H-DRI. Em seguida, destaca-se o processo de transição dos fornos tradicionais para fornos a arco elétrico (BF-BOF para EAF), utilizando ferro de baixa emissão, produzido com menor impacto ambiental, ou utilizando biomassa em altos fornos. Outros projetos pretendem substituir o uso de gás natural na produção de ferro reduzido direto por hidrogênio como agente redutor (GN-DRI para H-DRI)<sup>16</sup>. Em sua maioria, as iniciativas são lideradas por empresas que possuem metas de redução de emissões de gases do efeito estufa (ver anexo). Além disso, a distribuição geográfica dos projetos abrange principalmente a Alemanha, Suécia, Índia, Áustria, Brasil e México.

Diante do contexto da transição para o aço de baixa emissão, considera-se que, até o momento, não há uma solução única capaz de viabilizar a descarbonização do setor. Nesse sentido, discute-se que é necessário avaliar um amplo portfólio de opções tecnológicas e que, possivelmente, será necessária uma combinação de tecnologias que devem ser implementadas à medida em que avançam em termos regulatórios, adaptam-se às circunstâncias locais e se tornem mais competitivas e custo-eficientes.

### 2.3 Competitividade

O custo de produção de aço é altamente relacionado aos insumos utilizados durante a produção, principalmente o custo do minério de ferro, sucata e dos insumos energéticos

<sup>16</sup> No processo de DRI a gás, até 30% do gás natural pode ser substituído por hidrogênio sem alterações significativas no processo, embora pré-aquecimento e outros pré-tratamentos possam ser necessários, dependendo da qualidade e quantidade do hidrogênio. O DRI baseado em gás natural pode ser adaptado para operar com 100% de H<sub>2</sub>, realizando pequenas modificações (Fan and Friedmann 2021).



(IEA 2020b). De acordo com o *World Economic Forum* (2023), a descarbonização da indústria siderúrgica poderá exigir investimentos acumulados de US\$ 372 bilhões até 2050, com 60% desse valor voltado para a modernização dos ativos existentes, adaptando as plantas industriais para a produção de aço de baixa emissão.

Ao avaliar o custo nivelado<sup>17</sup> para a produção de 1 tonelada de aço utilizando a rota H2-DRI, as estimativas giram em torno de US\$ 800 a US\$ 900 por tonelada, o que representa um aumento de cerca de 35% a 70% em relação à rota BF-BOF, cujo custo nivelado é de aproximadamente US\$ 400 por tonelada de aço (IEA 2020b). Na Europa, o uso de hidrogênio verde em rotas DR-EAF pode ser de 20% a 60% mais caro do que a produção convencional por meio de gás natural (Bloomberg NEF 2024). Esse aumento está relacionado principalmente ao custo do hidrogênio verde, cuja estimativa pode variar entre US\$ 4 e US\$ 12 por quilograma, assumindo que os eletrolisadores operem com energia solar e eólica. No entanto, esses custos podem diminuir até 2050, tornando-se até 5% mais barato em relação às rotas que utilizam combustíveis fósseis (Bloomberg NEF 2023).

Os custos do processo DRI-EAF baseado em gás natural, sem captura, estão entre aproximadamente US\$400 a US\$590 por tonelada de aço bruto. Para o DRI-EAF com CCS, os custos de produção variam de US\$450 a US\$650 por tonelada de aço bruto (Benavides et al. 2024). Já o custo nivelado da produção convencional através da redução direta de ferro a gás (GN-DRI), sem captura, é de aproximadamente US\$ 550 por tonelada, enquanto, equipado com CCUS, esse valor pode chegar a US\$ 700 por tonelada (IEA 2020b).

*Tabela 1: Custos de produção de aço por rota tecnológica*

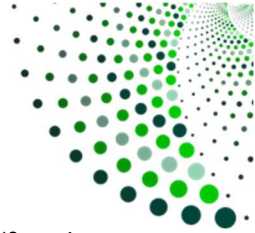
Rota Tecnológica	Custo por ton (USD)	Fonte Energética
BF-BOF	400	Fóssil
DR-EAF (Gás Natural)	400-590	Gás Natural
GN-DRI	550	Gás Natural
DR-EAF (Gas Natural com CCS)	450-650	Gás Natural
GN-DRI (com CCUS)	700	Gás Natural com CCUS
H2-DRI	800-900	Hidrogênio Verde

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da BNEF e AIE

Estima-se que a biomassa possa oferecer menores custos diante das rotas tecnologias discutidas nesta seção. Por outro lado, a alta demanda por biomassa pode encarecer os custos de aquisição e logística, dificultando a sua implementação na indústria do aço (Lundmark, Wetterlund, and Olofsson 2024).

De modo geral, a produção de aço de baixo carbono utilizando as rotas tecnológicas discutidas até aqui apresentam um aumento nos custos de produção. Nesse sentido, para produzir aço de baixa emissão que atendam às exigências de mecanismos

<sup>17</sup> Sem considerar custos indiretos.



internacionais de controle de emissões, como o CBAM, por exemplo, países<sup>18</sup> cujas exportações são dominadas por setores intensivos em emissões, como o aço, e altamente expostos ao mercado da União Europeia, podem enfrentar o aumento dos custos de produção e, conseqüentemente, a perda de competitividade internacional (Pei 2022).

Além disso, a perda de competitividade nos mercados onde há controle de emissões na produção de aço pode realocar a produção e a exportação para países com regulamentações menos rígidas (Böhringer, Rosendahl, and Storrøsten 2017). A indisponibilidade de tecnologias de baixo carbono também pode gerar incertezas quanto ao custo competitivo. Incertezas no preço da energia decorrentes da substituição de combustíveis fósseis, bem como o grau de maturidade tecnológica, eficiência e vida útil das tecnologias de baixo carbono podem afetar a competitividade dos países produtores de aço (Lee 2023).

## 2.4 Transição Energética Justa na indústria siderúrgica

A concepção de transição energética justa<sup>19</sup> tem sido amplamente discutida diante da necessidade de cumprir as metas climáticas estabelecidas no Acordo de Paris. A transição para uma economia de baixo carbono é um processo complexo que envolve potenciais benefícios, custos e riscos associados ao desenvolvimento de novos sistemas energéticos, avanços tecnológicos e à modernização das infraestruturas industriais (Wang and Lo 2021). Nesse sentido, para evitar a perpetuação de injustiças, bem como desigualdades ambientais e socioeconômicas intrínsecas ao regime vigente, é fundamental que as empresas incorporem preocupações com justiça social e medidas de redução da pobreza em suas agendas de sustentabilidade. Essa necessidade surge principalmente no contexto da transição energética porque mudanças no modo de produção podem prejudicar trabalhadores e comunidades, sobretudo aquelas que dependem diretamente de atividades associadas às indústrias intensivas em carbono (Healy and Barry 2017).

Diante disso, o debate sobre transição justa na siderurgia concentra-se em encontrar soluções eficazes para assegurar a continuidade das operações em um cenário profundamente modificado pelas tecnologias de baixa emissão<sup>20</sup> (Swennenhuis, de Gooyert, and de Coninck 2022). Apesar de não haver um consenso sobre o significado desse conceito, estudos indicam que assegurar uma transição energética justa na indústria siderúrgica envolve conciliar os objetivos de descarbonização com a promoção

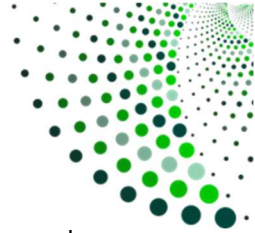
---

<sup>18</sup> Nesse aspecto, países como Rússia, China, Índia e Turquia estão entre os países mais sensíveis ao CBAM e, portanto, são os mais propensos a perder competitividade diante dessas exigências internacionais.

<sup>19</sup> Estudos sobre transição justa apresentam uma variedade de interpretações sobre este conceito, que podem ser categorizadas de acordo com diferentes prioridades e estratégias, contemplando dimensões sociais, ambientais, climáticas, entre outras. Para mais detalhes ver Wang and Lo (2021) e Vogl, Rootzén, and Svensson (2019).

<sup>20</sup> Enquanto outras indústrias que tendem a entrar em declínio, como a do carvão, discutem como lidar com as consequências da transição energética, a situação da indústria do aço é diferente, pois estima-se que sua demanda pode se estabilizar ou continuar a crescer. Nesse sentido, as consequências da transição não são claras para a siderurgia, já que o desafio não será o fim das operações em si, mas a adaptação da produção para um cenário onde há incertezas sobre as rotas tecnológicas que serão adotadas pelo setor.





de melhores condições de trabalho e, idealmente, incluir a participação dos grupos e das comunidades afetadas no processo de tomada de decisão (WBA 2024).

Nesse sentido, uma transição energética justa para o setor siderúrgico considera os impactos da transição sobre a força de trabalho e as comunidades (Selvaraju and Analyst 2024). Essa discussão é relevante, pois, embora a transição para uma economia de baixo carbono tenha o potencial de gerar novos empregos, essa dinâmica também pode eliminar postos de trabalho existentes<sup>21</sup>, afetando diretamente a renda das famílias e das comunidades envolvidas (Van den Berg et al. 2020).

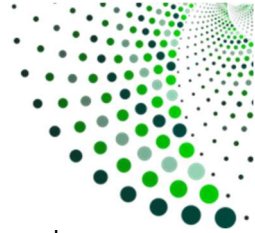
Além de preocupar-se em aumentar a oferta total de empregos, uma transição energética justa deve ser vista como uma oportunidade para promover empregos dignos que favoreçam a inclusão e a diversidade. Isso contribuiria para maior igualdade de gênero no mercado de trabalho, proporcionando uma maior participação de mulheres em setores predominantemente masculinos (United Nations 2023). Além disso, outro aspecto relevante é a preocupação em torno da lacuna de competências e a qualificação dos trabalhadores, considerando que precisarão se adaptar para atuar nas novas cadeias de valor associadas à descarbonização (Vogl, Rootzén, Svensson 2019). Para garantir uma maior proteção social e o desenvolvimento de novas competências, a especialização deve ser acompanhada de melhores salários, bem como pela regularização dos empregos (García-García, Carpintero, and Buendía 2020).

Paralelamente à visão de justiça associada ao trabalho, que é o aspecto mais predominante na literatura sobre transição energética justa na siderurgia, outros estudos oferecem uma perspectiva mais abrangente sobre o tema, incluindo aspectos ambientais para além da descarbonização em suas análises. No entanto, atualmente são poucas as investigações na literatura que contemplam essas perspectivas para avaliar a indústria siderúrgica: o debate concentra-se principalmente no controle das emissões de GEE. Questões relacionadas ao uso da terra, riscos ambientais, bem como produção e consumo responsáveis são pautas desafiadoras para o setor devido ao seu alto consumo de energia, materiais e recursos hídricos. Ao mesmo tempo, além das emissões de GEE já discutidas exaustivamente neste relatório, a produção siderúrgica gera um volume significativo de efluentes líquidos e resíduos sólidos ao longo das diversas etapas do processo de fabricação de aço (Carvalho, Mesquita, and Araújo 2015).

Esse cenário evidencia a necessidade de ampliar as discussões sobre transição energética justa na indústria siderúrgica, já que a produção de aço não é neutra em termos de justiça, pois seus impactos negativos podem ser distribuídos de forma desigual entre diferentes atores sociais (Swennenhuis, de Gooyert, and de Coninck 2022). Por exemplo, indivíduos e comunidades podem ser deslocadas e sofrerem prejuízos em relação à qualidade do ar e à disposição inapropriada de resíduos, o que gera impactos diretos à saúde pública. Em alguns casos, as indústrias operam em áreas habitadas por indivíduos em maior condição de vulnerabilidade social. Nesse contexto, a contaminação resultante dessas atividades pode aprofundar desigualdades socioambientais e potencializar os impactos negativos associados aos empreendimentos poluidores, afetando sobretudo atores sociais que, historicamente, já enfrentam outras formas de desigualdades (Tavares 2022).

---

<sup>21</sup> Para mais detalhes sobre os impactos do desemprego e a realocação dos trabalhadores da siderurgia, consulte Rimini et al. (2020).



O mesmo ocorre com indivíduos que habitam regiões sob estresse hídrico, que podem enfrentar problemas relacionados à escassez de água (Sovacool et al. 2019). Essa situação pode ser agravada devido ao alto consumo de recursos hídricos durante a produção siderúrgica, principalmente nas etapas de resfriamento em processos de alta temperatura, limpeza, entre outras funções (World Steel Association 2020). Além disso, os riscos ambientais associados à demanda por outros recursos e materiais, como minério de ferro e carvão, contribuem para a degradação do meio ambiente nas regiões de exploração, resultando na contaminação do solo e lençóis freáticos, por exemplo.

Outro aspecto prejudicial para as comunidades é a disputa por disponibilidade de terra para extração dos recursos naturais e para instalação das indústrias, o que pode levar à desapropriação dos habitantes locais. Esse problema é agravado em muitas regiões do mundo, como na Europa e nos Estados Unidos, onde as indústrias siderúrgicas tendem a se concentrar em áreas próximas aos recursos naturais e matérias-primas, ou em zonas costeiras, ou perto de outras indústrias que demandam por aço. Essa questão é relevante não apenas para refletir sobre os impactos causados durante a produção para as populações locais, mas também para avaliar o encerramento das atividades produtivas. Além de ter causado degradação ambiental na região, o fim das operações pode provocar o declínio das economias locais que se desenvolveram em torno das atividades siderúrgicas e dependem delas para sua subsistência (Rimini et al. 2020).

Além dos impactos positivos, a literatura ressalta a preocupação da indústria siderúrgica quanto à rentabilidade das tecnologias de baixa emissão e à necessidade de garantir que a transição justa não comprometa a competitividade das empresas (Vogl, Rootzén, and Svensson 2019). Assim, deve-se também considerar a custo eficiência do processo produtivo, para evitar que os custos mais elevados das novas tecnologias e processos resultem em inflação de custos para o consumidor final, reduzindo seu poder de compra. Isso é fundamental, pois um aumento significativo no preço do aço poderia impactar diversos setores econômicos, afetando indiretamente as famílias e comunidades.

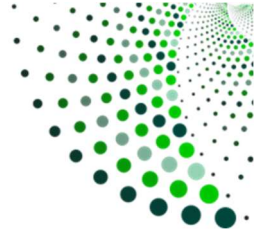
Externalidades associadas à produção do aço podem aumentar a complexidade e os custos dessa transição. Além do uso de energias limpas, a criação de certificações que incluam aspectos sociais mencionados anteriormente (criação de empregos decentes, equidade salarial e a satisfação das comunidades) podem gerar custos adicionais (Ziolo et al. 2019). Por fim, os custos socioeconômicos das políticas de descarbonização podem afetar o apoio popular à essas medidas. Por outro lado, negligenciar princípios associados à transição energética justa pode resultar na perpetuação de padrões de exploração e desapropriação que caracterizam a economia política global atual (Healy and Barry 2017).

Nesse contexto, durante reunião ministerial do G20, sob liderança brasileira<sup>22</sup>, os membros do G20 endossaram dez princípios para promoção de transições energéticas limpas, sustentáveis, justas, acessíveis e inclusivas. Embora não sejam direcionados especificamente para o setor siderúrgico, esses valores constituem uma abordagem mais ampla de justiça na transição, oferecendo diretrizes relevantes para diversas atividades econômicas, incluindo a siderurgia.

---

<sup>22</sup> Em 2024, como parte de seu compromisso internacional, o Brasil discutiu junto ao G20 estratégias e compromissos para promover uma transição energética justa entre seus países-membros.





Esses pilares refletem um maior grau de consenso sobre aspectos fundamentais para o avanço da transição energética justa, garantindo que ninguém seja “deixado para trás”<sup>23</sup> nessa transformação, especialmente os grupos mais vulneráveis (UNFCCC 2023). Tais princípios reconhecem as desigualdades inerentes ao cenário energético atual, buscando soluções acessíveis para setores como a indústria, alinhando-se ao debate internacional sobre o tema. Nesse contexto, o G20 considera principalmente os seguintes princípios (G20 2024):

### Justiça social e redução da pobreza

- **Proteção social:** fortalecer o acesso a sistemas de proteção social para trabalhadores e comunidades, principalmente aquelas em maior condição de vulnerabilidade;
- **Políticas de inclusão:** incorporar perspectivas interseccionais de gênero, idade, raça, etnia, assegurando uma distribuição justa dos benefícios da transição energética;
- **Respeito aos direitos humanos:** promover e considerar os direitos humanos, respeitando povos indígenas, comunidades locais, pessoas com deficiência, bem como os direitos trabalhistas na implementação de políticas de transição energética.

### Emprego e qualificação da força de trabalho

- **Emprego:** promover empregos dignos;
- **Transformação das forças de trabalho:** facilitar a mobilidade da força de trabalho entre setores e proporcionar oportunidades de requalificação;
- **Monitorar a cadeia de fornecedores:** fomentar desenvolvimento social e econômico por meio de cadeias de fornecimento confiáveis, diversificadas e sustentáveis.

### Impacto nas comunidades

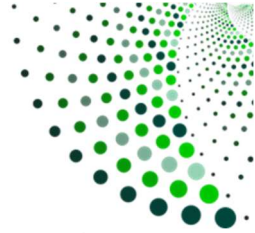
- **Diálogo social:** incentivar a participação de comunidades afetadas, sindicatos e diferentes *stakeholders* nas decisões sobre transição energética.
- **Maximizar benefícios socioeconômicos e ambientais:** assegurar uma distribuição justa desses benefícios;
- **Mitigar impactos socioeconômicos e ambientais negativos:** mitigar impactos decorrentes de políticas, infraestruturas e das atividades de extração, refino e processamento de materiais e minerais críticos para a transição energética.

### Energia e transição energética justa

- **Planejamento energético:** definir as fontes energéticas a serem utilizadas em cada setor por meio de um planejamento regional e nacional de longo prazo;

---

<sup>23</sup> Uma transição justa envolve transformar a economia e o sistema econômico de maneira inclusiva e equitativa para todos os envolvidos, criando oportunidades de trabalho digno e garantindo que ninguém seja desconsiderado nessa transformação. Por isso, o lema diz “deixar ninguém para trás” (UNFCCC 2023).



- **Implementar políticas setoriais:** direcionar ações e mecanismos de financiamento que impulsione a transição para energias mais limpas;
- **Garantir segurança energética:** assegurar acessibilidade, estabilidade dos mercados e prosperidade econômica.

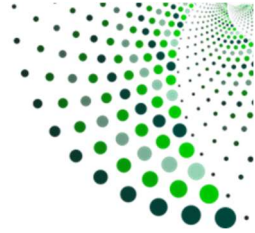
### Crescimento econômico e competitividade

- **Oferecer soluções acessíveis:** oferecer financiamento de baixo custo para tecnologias e modelos de negócios inovadores;
- **Crescimento econômico sustentável e inclusivo:** promover oportunidades econômicas nas comunidades, fortalecendo a produção local, garantindo que os benefícios do desenvolvimento sejam amplamente distribuídos.

Diante da discussão realizada ao longo deste relatório, argumenta-se que promover uma transição energética justa na indústria siderúrgica enseja a incorporação de aspectos sociais e ambientais para além da geração de empregos e da agenda de descarbonização, uma vez que esse processo envolve mudanças complexas de longo prazo em diferentes cenários desse sistema (Swennenhuis, de Gooyert, and de Coninck 2022). A incorporação de critérios socioambientais na indústria, como criação de empregos dignos, uso eficiente dos recursos, uso do solo, equidade salarial e a participação da sociedade civil é fundamental para avaliar os impactos da transição sobre indivíduos e comunidades. Esses critérios podem contribuir para mitigar possíveis impactos negativos sobre grupos e comunidades mais vulneráveis, evitando que os aspectos negativos da transição sejam distribuídos desigualmente entre diferentes atores sociais.

Além dos ganhos climáticos, a promoção de uma transição energética justa pode representar uma oportunidade para reduzir essas desigualdades, oferecer maior proteção social, atrair investimentos, bem como promover o progresso dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, como produção e consumo responsáveis (UNDP 2022). Para atingir esses objetivos, os riscos sociais envolvidos nesse processo, como exclusão social e o agravamento da pobreza, precisam ser gerenciados a fim de garantir que as mudanças no processo produtivo resultem efetivamente em maiores benefícios para as comunidades.

Diante da dificuldade de garantir a competitividade do setor, políticas e medidas financeiras devem ser adotadas em cada país para abordar as lacunas de justiça e inclusão na transição energética. A implementação dessas medidas precisa ser contextualizada de acordo com as necessidades de cada país, considerando suas dinâmicas sociais, econômicas, culturais e as demandas de seus serviços energéticos. Isto é, a implementação desses critérios precisa garantir que os benefícios dessa mudança alcançarão comunidades mais desfavorecidas, independentemente do gênero e da etnia. Nestas bases, destaca-se a importância da capacitação de trabalhadores através da educação formal e outras melhorias discutidas ao longo desta seção enseja fundos internacionais de financiamento, considerando instituições nacionais, bilaterais e multinacionais capazes de fornecer recursos financeiros necessárias para uma transição energética justa, exigindo políticas que conciliem justiça social, custo-eficiência e competitividade industrial (IEA 2024).



## 2.5 Cases em que a escolha da rota tecnológica de descarbonização leva em consideração aspectos da justiça social

Apesar da produção de aço de baixa emissão representar menos de 1% da produção de aço mundial, já é possível destacar exemplos de projetos onde a produção do aço de baixa emissão incorpora aspectos da transição justa. Esses projetos, exemplificados a seguir, não se concentram apenas em reduzir as emissões de GEE, mas também buscam incluir em sua agenda questões sociais como emprego e a promoção de benefícios para as regiões produtoras. Ao adotar uma abordagem mais abrangente, esses projetos buscam equilibrar os objetivos ambientais com o desenvolvimento socioeconômico.

### 2.5.1 Projeto HYBRIT (*Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology*)

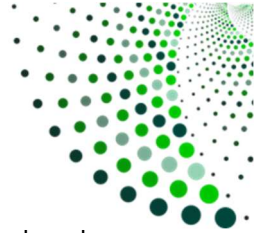
O projeto HYBRIT, é uma colaboração entre as empresas SSAB, LKAB e Vattenfall. Ao utilizar hidrogênio produzido a partir de fontes renováveis em vez de carvão, o HYBRIT visa reduzir drasticamente as emissões de carbono, com a meta ambiciosa de tornar a produção de aço completamente livre de fósseis até 2045. A transição para o uso de hidrogênio tem o potencial de eliminar aproximadamente 10% das emissões totais da Suécia e 7% das da Finlândia, uma vez que a indústria siderúrgica é uma das principais fontes de poluição nesses países.

Além da inovação tecnológica, o HYBRIT também foca no desenvolvimento das comunidades locais e na criação de uma economia verde inclusiva demonstrando um compromisso com a justiça social e a inclusão no contexto da transição energética. O projeto não se limita a reduzir emissões; ele coloca ênfase significativa na requalificação da força de trabalho, garantindo que os trabalhadores do setor tenham as habilidades necessárias para operar e manter as novas tecnologias. O programa de requalificação será essencial para evitar desemprego em massa em áreas industriais fortemente dependentes do carvão, proporcionando treinamento em habilidades verdes e aumentando a empregabilidade dos trabalhadores no longo prazo (SSAB 2021).

### 2.5.2 Projeto de captura e armazenamento de carbono da *Tata Steel*

O projeto de captura e armazenamento de carbono (CCS) da *Tata Steel* nos Países Baixos é uma das iniciativas mais avançadas para reduzir as emissões de carbono na indústria siderúrgica. A tecnologia CCS permite capturar o dióxido de carbono gerado durante o processo de produção de aço e armazená-lo de forma segura, impedindo sua liberação na atmosfera. Esse método pode reduzir drasticamente as emissões da planta siderúrgica de Ijmuiden, uma das maiores da Europa, e faz parte de um compromisso mais amplo da Tata Steel de atingir a neutralidade de carbono até 2050. Além de mitigar o impacto ambiental da indústria, a empresa está investindo em pesquisa e desenvolvimento para aperfeiçoar a eficiência da tecnologia CCS, buscando torná-la economicamente acessível para adoção em larga escala na indústria siderúrgica global.

Além dos aspectos tecnológicos, a Tata Steel está implementando programas de educação e capacitação para preparar os trabalhadores para operarem as novas tecnologias de captura de carbono e desenvolverem competências para atuar no setor emergente de energias verdes. A empresa busca engajar ativamente sindicatos e



autoridades locais para promover uma transição justa, criando novas oportunidades de emprego e impulsionando o desenvolvimento econômico da região (TATA 2024).

### 2.5.3 Projeto H2 Green Steel

O projeto H2 Green Steel, na Suécia, vai substituir o uso de carvão por hidrogênio na produção de aço. A meta do projeto é atingir a produção de 5 milhões de toneladas de aço livre de insumos fósseis até 2030. O projeto envolverá as comunidades e os trabalhadores locais por meio da colaboração com sindicatos e partes interessadas regionais buscando garantir que a criação de novos empregos em tecnologias verdes seja equitativa e inclusiva, beneficiando diretamente as regiões onde o projeto será implementado. A iniciativa oferecerá oportunidades de requalificação e treinamento para trabalhadores que possam ser impactados pela transição para a produção de aço com base no hidrogênio (Stegra 2024.)

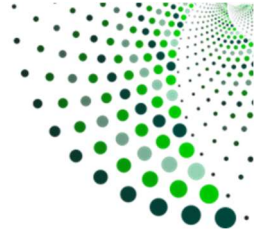
## 2.6 Indicadores socioambientais na indústria siderúrgica mundial

Diante da discussão realizada anteriormente, é notável a necessidade de implementar ferramentas capazes de monitorar os impactos socioambientais inerentes à produção siderúrgica. Por isso, a busca pela sustentabilidade socioambiental deve transcender a pauta da redução de emissões, considerando também impactos de outras naturezas, como por exemplo, o uso da água e a participação das comunidades locais. Ao avaliar os indicadores internacionais vigentes nos últimos anos, como ilustra a figura abaixo, observa-se que a indústria siderúrgica internacional considerou como aspectos sociais apenas questões relacionadas à segurança do trabalho e à qualificação dos funcionários. Notou-se, ainda, que a avaliação do desempenho sustentável do setor concentrou-se principalmente nos seguintes aspectos climáticos: redução das emissões de carbono, intensidade energética, eficiência de materiais e gestão ambiental.

*Tabela 2: Indicadores avaliados pela World Steel Association entre 2004 e 2022*

Categoria	Aspecto	Métrica
Desempenho Ambiental	Intensidade de emissões de CO <sub>2</sub> .	Toneladas de CO <sub>2</sub> por tonelada de aço bruto fundido.
	Intensidade energética.	GJ por Tonelada de aço bruto fundido
	Eficiência de materiais.	%
	Sistema de Gestão ambiental.	%
Desempenho Social	Taxa de frequência de lesões com afastamento.	Lesões por milhão de horas trabalhadas.
	Treinamento de funcionários.	Dias de treinamento por funcionário
Desempenho Econômico	Investimento em novos processos e produtos valor econômico distribuído	%

Fonte: World Steel Association, 2024



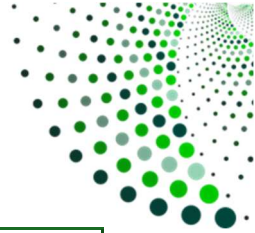
Para além dos indicadores citados acima, o setor de ferro e aço também considera outros critérios já consolidados na indústria de modo geral, como as Normas SASB e as Normas Setoriais da GRI. Esses indicadores buscam medir riscos e identificar oportunidades que podem contribuir para uma produção industrial mais sustentável. As normas mencionadas incluem os seguintes indicadores socioambientais: emissões de GEE; qualidade do ar; gestão de água; saúde e segurança do trabalho; gestão da cadeia de suprimentos; combate à corrupção; ética e governança; relacionamento com as comunidades; diversidade e inclusão; mudanças climáticas; gestão de água e afluentes; gestão de energia; gestão de resíduos e economia circular; e temas materiais (SASB 2023).

Nestas bases, apesar da discussão da siderurgia verde está centrada na redução das emissões de gases do efeito estufa, é perceptível o movimento de se incluir outros aspectos socioambientais para avaliar os impactos causados pela produção siderúrgica. Esses padrões, protocolos, iniciativas e políticas governamentais muitas vezes possuem propósitos diferentes ou abordam aspectos específicos da cadeia de valor do aço. Nesse sentido, a incorporação de indicadores sociais é essencial para definir critérios claros para essa produção, pois a indústria siderúrgica opera em contextos diferentes em cada país (Hasanbeigi and Sibal 2023).

Propostas mais recentes, como a apresentada pela *World Steel Association* em 2022 no relatório de sustentabilidade denominado *Charter 9 principles and 20 criteria*, tem como objetivo estabelecer critérios específicos a serem considerados para que uma empresa se torne um membro da associação. Novos indicadores sociais voltados para mitigação dos impactos da produção siderúrgica incluem o diálogo com as comunidades locais e a gestão da cadeia de suprimentos. Em negrito destacam-se os critérios que já constituem os programas de sustentabilidade existentes, por exemplo, aspectos relacionados à segurança do trabalho (Worldsteel Association 2023c):

*Tabela 3: Relatório de Sustentabilidade da WSA (Charter 9 principles and 20 criteria)*

Tópico	Princípio	Crítérios
Ação climática	Abordar proativamente as mudanças climáticas e realizar ações efetivas para minimizar as emissões de GEE da indústria.	1. <b>Dados de emissões de CO<sub>2</sub> ou consumo de energia fornecidos à Worldsteel ou às autoridades nacionais.</b> 2. Estabelecimento de planos e metas para a redução de emissões de CO <sub>2</sub> e GEE.
Economia circular	Maximizar a eficiência no uso dos recursos ao longo do ciclo de vida dos produtos de aço e apoiar a sociedade na promoção de uma economia circular.	3. <b>Dados de Inventário do Ciclo de Vida (LCI) fornecidos à Worldsteel e/ou disponibilizados por meio de declarações ambientais certificadas.</b> 4. <b>Informações sobre coprodutos, materiais aterrados e incinerados fornecidas à Worldsteel.</b>
Cuidado ambiental	Conduzir as operações de forma ambientalmente responsável.	5. Investimento e/ou implementação de projetos ambientais realizados. 6. Divulgação de informações publicadas sobre poluentes atmosféricos e uso de água. 7. <b>Adoção de um sistema de gestão ambiental.</b>



Saúde e Segurança	Manter um ambiente de trabalho seguro e saudável, com ações efetivas para gerenciar incidentes, riscos e oportunidades relacionadas à saúde e segurança.	8. <b>Dados de segurança do trabalho fornecidos à Worldsteel.</b> 9. Implementação de um sistema de gestão de saúde e segurança. 10. Estatísticas de desempenho de segurança publicadas. 11. <b>Participação no Dia de Segurança do Aço da Worldsteel.</b>
Nossa equipe	Capacitar nossa equipe para realizar seu pleno potencial, promovendo um ambiente de trabalho inclusivo e justo.	12. <b>Tempo de treinamento dos funcionários reportados à Worldsteel.</b> 13. Implementação de políticas de gestão de recursos humanos.
Inovação e prosperidade	Estabelecer um relacionamento construtivo e de confiança com as comunidades locais.	14. Engajamento comunitário, investimentos e/ou participação em atividades de responsabilidade social corporativa (RSC).
Cadeias de valor responsáveis	Liderar práticas de negócios responsáveis ao longo da cadeia de valor.	15. Implementação de sistemas de gestão da cadeia de suprimentos e/ou práticas de compras responsáveis.
Operações éticas e transparentes	Conduzir operações com altos padrões e transparência nos processos.	16. Código de conduta empresarial em vigor. 17. Publicação de relatórios de sustentabilidade 18. Engajamento e comunicação ativa com stakeholders.
Inovação e prosperidade	Fomentar inovações tecnológicas e desenvolver novos produtos para alcançar um desenvolvimento econômico sustentável.	19. <b>Dados de investimento em novos processos e produtos (CAPEX + P&amp;D) reportados à Worldsteel.</b> 20. <b>Valor Econômico Distribuído (VED) informado à Worldsteel.</b>

Fonte: World Steel Association, 2023

Para avançar nesse sentido, a *ResponsibleSteel International Production Standard* (2024) propôs em 2024 a inclusão de aspectos sociais<sup>24</sup> mais amplos para a siderurgia que contemplam diferentes etapas da fabricação do aço até seus consumidores finais. Esses indicadores sinalizam circunstâncias que devem ser priorizadas ou evitadas, por exemplo, a produção em áreas protegidas ou em locais onde há o risco de trabalho infantil ou compulsório. Da mesma forma, evitar o risco de contaminação de rios; a destruição de florestas naturais; monitorar a construção de barragens para rejeitos de alto risco, assim como atuar em territórios que envolvam disputas no uso da terra. Essa medida objetiva auxiliar na padronização<sup>25</sup> de uma produção mais responsável, considerando os princípios listados abaixo (ResponsibleSteel 2024):

<sup>24</sup> Documento publicado em 2024. Para mais informações, vide: <https://responsiblesteel.org/standards>

<sup>25</sup> Esse padrão entra em vigor a partir de 2024, mas permanece na fase de testes, aguardando os resultados da consulta pública sobre o documento. Os padrões internacionais da ResponsibleSteel são revisados e avaliados em um prazo máximo de cinco anos, a partir da data de aprovação.



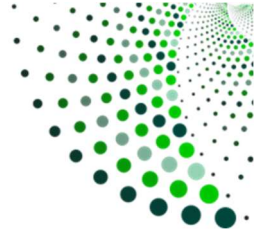
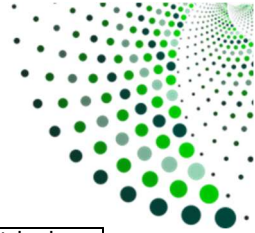


Tabela 4: Indicadores socioambientais

<b>Princípio</b>	<b>Descrição</b>
Liderança Corporativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Valores e compromissos corporativos</li> <li>b) Código de conduta ética; cumprir as leis; supervisão de políticas anti-corrupção</li> <li>b) Uma política responsável na aquisição de matérias-primas dos fornecedores</li> </ul>
Sistemas de Gestão Ambiental, Social e de Governança	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Sistema de gestão</li> <li>b) Fornecimento responsável</li> <li>c) Conformidade legal com a regulação do país vigente</li> <li>d) Anti-corrupção e transparência</li> </ul>
Aquisição Responsável de Materiais de Entrada	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Adquirir insumos de forma responsável ao longo de toda cadeia de suprimentos</li> <li>b) Conhecimento sobre as cadeias de suprimentos upstream</li> <li>c) Compreender os riscos e impactos ESG das cadeias de abastecimento</li> <li>d) Fortalecer e prestar contas sobre a aquisição responsável</li> <li>e) Relatar publicamente sobre a aquisição responsável e promover melhorias</li> </ul>
Descomissionamento e Encerramento	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Incluir custos e planos de descomissionamento</li> <li>b) Mitigar impactos sociais e econômicos sobre os trabalhadores e comunidades locais</li> <li>c) No caso de fechamento, considerar as preferências da comunidade e descrever o uso futuro das instalações e infraestrutura</li> </ul>
Saúde e Segurança Ocupacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Apoio e compensação para lesões ou doenças relacionadas ao trabalho</li> <li>b) Ambientes de trabalho seguros e saudáveis</li> </ul>
Direitos Trabalhistas	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Combate ao trabalho infantil e juvenil</li> <li>b) Combate ao trabalho forçado ou compulsório</li> <li>c) Remuneração justa</li> </ul>
Direitos Humanos	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Compromisso com os direitos humanos</li> <li>b) Práticas de segurança</li> <li>c) Estudo de áreas afetadas por conflitos e de alto risco</li> <li>d) Carga horária</li> </ul>
Engajamento e Comunicação com Stakeholders	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Comunicação ao público</li> <li>b) Remediação de impactos adversos</li> </ul>



Comunidades Locais	a) Compromisso com as comunidades locais b) Free, Prior and Informed Consent (FPIC) c) Respeito às heranças culturais d) Políticas de deslocamento e reassentamento
Mudança Climática e Emissões de GEE	a) Compromisso corporativo para alcançar as metas do Acordo de Paris b) Determinação das emissões de GEE para fins de metas e planejamento de redução de emissões de GEE c) Task Force on Climate-Related Financial Disclosures (TCFD). d) Relatar intensidade das emissões de GEE na produção de aço bruto e) Metas de redução de GEE
Ruído, Emissões, Efluentes e Resíduos	a) Controle de ruído e vibração b) Reduzir poluição atmosférica c) Controle de derramamentos e vazamentos d) Gestão de resíduos, subprodutos e resíduos de produção
Gestão da Água	a) Monitorar a gestão da água b) Avaliar impactos nas comunidades c) Incluir a gestão hídrica nos planos de negócios
Biodiversidade	a) Compromisso e gestão da biodiversidade b) Não iniciar atividades em áreas protegidas por comunidades indígenas, de conservação ambiental ou consideradas patrimônio mundial.

Fonte: Responsible Steel, 2024

Em 2022, a ISO lançou novas diretrizes denominadas *Net Zero Guidelines* na 27ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP27), voltadas para orientar a descarbonização nas indústrias de modo geral. Esses princípios enfatizam orientações para alcançar a neutralidade climática, estabelecendo metas específicas até 2050 para setores como ferro e aço, construção e cimento. O objetivo é estabelecer princípios que permitam uma abordagem em comum entre setores, possibilitando metas compartilhadas mais ambiciosas que incluam o debate sobre transição energética justa na pauta das urgências climáticas (ISO - International Organization for Standardization 2022):



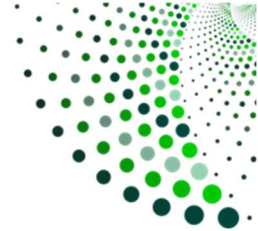
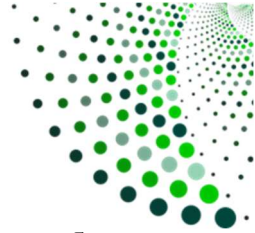


Tabela 5: Diretrizes Net Zero Guidelines

Conteúdo	Descrição
Geral	Princípios do Tratado de Paris e alcançar emissões líquidas zero de GEE
Alinhamento	Alinhamento com políticas e orientações internacionais voltadas para ação climática
Urgência	Urgência em contribuir efetivamente para os esforços globais de limitar o aumento da temperatura média, de acordo com os cenários do IPCC; Metas intermediárias para alcançar reduções substanciais das emissões dos Escopos 1, 2 e 3 até 2030 ou antes.
Ambição	Definir metas de maior ambição climática, considerando a responsabilidade histórica de emissões e organizações com maior capacidade
Priorização	Priorizar a redução das emissões de GEE por meio de metas intermediárias e de longo prazo a fim de tornar-se net-zero
Tomada de decisão	Tomada de decisões baseada em evidências científicas e no conhecimento indígena, alinhadas com o princípio de equidade e justiça, considerando uma transição justa. Para garantir uma participação justa, decisões e metas são revisadas regularmente, adaptadas à medida que o conhecimento e a ciência evoluem.
Abordagem baseada em risco	A abordagem baseada em risco leva em conta os riscos associados à mitigação, potenciais impactos negativos, consequências não intencionais e outros riscos previsíveis.
Credibilidade	Credibilidade nas ações de mitigação podem, monitoradas continuamente para adotar ações corretivas se surgirem problemas
Equidade e justiça	Metas e ações estão alinhadas com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (ODS)
Transparência, integridade e responsabilidade	Transparência nas informações relacionadas ao status atual das emissões, linha de base, metas e planos são abrangentes e relatadas publicamente.
Alcance e continuidade do zero líquido	Ações baseadas em princípios de equidade e justiça, incluindo a participação justa, para garantir <i>net-zero</i> de emissões de GEE, remoções permanentes ou suficientemente duradouras para contrabalançar as emissões de GEE. Ao alcançar o zero líquido, ações são tomadas em direção à obtenção de emissões negativas de GEE.

Fonte: ISO, 2022

O desenvolvimento de indicadores socioambientais mais avançados e abrangentes é fundamental para promover uma transição energética justa e permitir a avaliação das múltiplas dimensões desse processo. No entanto, ao analisar o histórico da siderurgia, percebe-se que ainda há um longo caminho a ser percorrido, uma vez que medidas mais amplas de sustentabilidade desenvolvidas especificamente para o setor foram elaboradas recentemente e permanecem na fase de testes. Apesar desse avanço, a definição de certos indicadores, por exemplo, o diálogo com as comunidades, ainda é vaga e pouco detalhada. Não há um consenso sobre quais parâmetros devem ser considerados em sua implementação. Além disso, atualmente não há um sistema internacional de métricas comparáveis que permita avaliar de forma consistente o desempenho socioambiental de diferentes empresas. Essa lacuna impede inferir o grau de comprometimento corporativo com a pauta sobre transição energética justa, o que



dificulta uma avaliação sistêmica sobre seu estado atual. Enquanto há uma discussão global sobre variados tipos de certificações para a produção de aço de baixa emissão, como discutido anteriormente neste relatório, o mesmo não se aplica para avaliar os aspectos sociais necessários para promover uma transição energética justa no setor.

### 3. Perspectivas da indústria do aço no Brasil

Nesta seção, apresenta-se um panorama da indústria siderúrgica brasileira. O primeiro passo consiste no levantamento de dados sobre a produção de aço no Brasil, contextualizando-a diante do cenário internacional e destacando suas especificidades. Em seguida, discutem-se as rotas tecnológicas tradicionais mais utilizadas e suas alternativas para descarbonização, com ênfase na produção de aço de baixo carbono. Além disso, esta seção apresenta o *status quo* desta indústria em termos sustentabilidade socioambiental e, sobretudo, o alinhamento do setor siderúrgico brasileiro com a promoção da transição energética justa. Para tanto, foram considerados os principais indicadores socioambientais presentes nos relatórios de sustentabilidade fornecidos pelas principais empresas que atuam no país, pelas instituições nacionais que representam o setor siderúrgico, bem como na literatura especializada.

#### 3.1 A indústria siderúrgica no Brasil

O Brasil é o principal produtor de aço na América Latina. Apesar de uma queda na produção<sup>26</sup> de 5,5% em 2022, a indústria brasileira do aço manteve sua liderança na região, representando 54,9% da produção latino-americana em 2023. O Brasil ocupa a 12ª posição entre os países exportadores de produtos siderúrgicos, com uma produção de 11,7 milhões de toneladas exportadas em 2023 (Instituto Aço Brasil 2024a).

A produção de aço é a principal fonte de emissões de GEE entre os setores da indústria brasileira, representando aproximadamente um quarto das emissões industriais (MCTI 2021). Diferentemente de outros países, onde as emissões são predominantemente atribuídas ao setor energético, o Brasil possui uma matriz elétrica composta por 89,2% de fontes renováveis (EPE 2024). Essa peculiaridade torna a descarbonização de setores industriais, como a siderurgia, especialmente desafiador para que o país alcance suas metas climáticas. As usinas siderúrgicas brasileiras estão concentradas especialmente na Região Sudeste<sup>27</sup> (Instituto Aço Brasil 2024a). O parque brasileiro é formado por 31 usinas (15 integradas e 16 semi-integradas), administradas por 12 grupos empresariais. A capacidade instalada atual da indústria é de 51 milhões de toneladas por ano de aço bruto (Instituto Aço Brasil 2021).

No que se refere aos produtores de aço, a figura abaixo ilustra as principais empresas que atuam no Brasil, considerando sua participação na produção nacional, os insumos utilizados e os desafios que enfrentam para avançar com a pauta de descarbonização:

<sup>26</sup> Em 2022, a produção de aço no Brasil caiu para 34,1 milhões de toneladas,

<sup>27</sup> Embora exista a produção de aço em 10 estados, a Região Sudeste concentra mais de 85% da produção de aço brasileira.

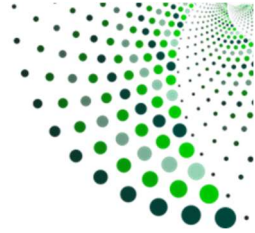


Tabela 6: Produtores de aço no Brasil

ARCELORMITTAL	GERDAU	TERNIUM/CSN/CSP/USIMINAS	AÇO VERDE BRASIL (AVB)
Detêm 28% da produção nacional.	Detêm 20% da produção nacional.	Cerca de 10% da produção nacional cada.	
Produção baseada em carvão, carvão vegetal e eletricidade.	Produção baseada em carvão, carvão vegetal e eletricidade.	Produção baseada em carvão.	
Mundialmente: a empresa está investindo em tecnologias de baixo carbono (por exemplo, DRI).	Aço de baixo carbono (0,93 tCO <sub>2</sub> /t de aço - global).	Ternium: Ternium e Vale assinaram um acordo focado em tecnologias para a redução de ferro (por exemplo, Tecnoled, HYL).	Aço Verde Brasil: 1,7% da produção nacional.
Pontos de pressão: Disponibilidade de carvão vegetal, preços de eletricidade, disponibilidade de sucata.	Pontos de pressão: Disponibilidade de carvão vegetal, preços de eletricidade, disponibilidade de sucata.	Pontos de pressão: Dificuldade para reduzir emissões; Preços de combustíveis fósseis.	Primeira produtora de aço no mundo com produção neutra em carbono.

Fonte: E+ Energy Transition Institute, 2022, p. 21.

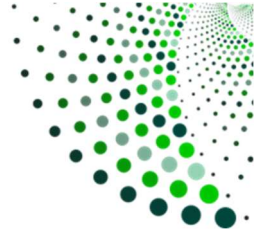
### 3.2 Rotas tecnológicas na indústria siderúrgica brasileira

Há duas rotas tecnológicas principais na produção siderúrgica brasileira:

- Usinas integradas: Produzem aço a partir do minério de ferro, utilizando carvão mineral ou vegetal como agente redutor nos altos fornos para produzir ferro metálico. Nesse processo, utiliza-se uma pequena proporção de sucata metálica. Essas usinas concentram as etapas de redução, refino e laminação (CNI 2017).
- Usinas semi-integradas: Não possuem a etapa de redução, utilizando basicamente sucata de aço e ferro gusa para alimentar as aciarias elétricas. Essas usinas operam nas etapas de refino, através de fornos elétricos a arco (EAF), e laminação (CNI 2017).

No Brasil, 85% do aço provém da rota integrada e 15% da semi-integrada. Para reduzir a pegada de carbono, 11% da indústria brasileira utiliza carvão vegetal como agente redutor de minério de ferro nos altos fornos, o que configura uma das peculiaridades do setor em relação aos outros países. Além disso, o plantio de florestas é um recurso utilizado para compensar as emissões (Instituto Aço Brasil 2021).

Tendo em vista as discussões internacionais sobre taxaço ou imposto de carbono, a indústria siderúrgica brasileira tem caminhado para a adoção de rotas tecnológicas mais limpas, além de incorporar critérios socioambientais no processo de tomada de decisão, que antes foram pouco explorados no passado recente (CNI 2017).



### 3.3 Aço de baixa emissão no Brasil

A transição climática mudará os padrões de produção e de consumo de aço (Gielen et al. 2020). Nesse sentido, a certificação tem sido um instrumento importante para medir os impactos da produção siderúrgica. Entre 2018 e 2020, a indústria do aço brasileira investiu cerca de R\$2,6 bilhões em ações ambientais, voltadas principalmente para o aprimoramento de processos técnicos, sustentabilidade e redução das emissões de CO<sub>2</sub> (Aço Brasil 2020). As empresas associadas ao Instituto Aço Brasil, a entidade representativa das empresas siderúrgicas nacionais, também são signatárias de instituições internacionais que promovem o desenvolvimento sustentável, possuindo as seguintes certificações (Aço Brasil 2020):

*Tabela 7: Certificação das empresas siderúrgicas brasileiras*

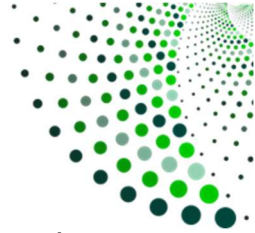
<b>Certificação</b>	<b>Setor do aço</b>
<b>ISO 9001</b> - Atesta boas práticas de gestão e de relacionamento entre clientes e fornecedores	Empresas responsáveis pela produção de 100% do aço bruto certificadas pela ISO 9001 em 2018, 2019 e 2020
<b>ISO 14001</b> - Exige comprometimento com a prevenção da poluição e com melhorias contínuas, parte do ciclo normal de gestão empresarial	Adotada pelas empresas responsáveis pela produção de 98% do aço bruto em 2018, 2019 e 2020
<b>OHSAS18001</b> - Define os requisitos para melhores práticas em gestão de saúde e segurança ocupacional	A certificação foi adotada por empresas responsáveis pela produção de 46% do aço bruto, em 2018. Em 2019 e 2020, 44%
<b>FSC (Forest Stewardship Council International)</b> - Atesta que as matérias-primas de um produto não agredem o meio ambiente	O total de aço bruto produzido com certificação de suas florestas plantadas pelo FSC foi de 47% em 2018, 42% em 2019 e 46% em 2020
<b>CERFLOR</b> - Visa à certificação do manejo florestal sustentável e da cadeia de custódia de produtos de base florestal	O total de aço bruto produzido com certificação de suas florestas plantadas pelo CERFLOR: 21% em 2018, 19% em 2019 e 17% em 2020

Fonte: Instituto Aço Brasil, 2020

Ao buscar o selo ambiental para seus produtos, a produção siderúrgica brasileira evidencia avanços não apenas em termos de qualidade, mas também sob o ponto de vista da responsabilidade socioambiental (Aço Brasil 2020). A redução das emissões é alcançada principalmente pelo uso de carvão vegetal<sup>28</sup>, no qual o Brasil possui liderança mundial<sup>29</sup> na produção de aço, ferro-gusa, ligas metálicas e silício. Esse recurso tem sido

<sup>28</sup> O clima adequado para cultivo de eucalipto combinado com a adoção de tecnologias avançadas para plantio, produção de carvão vegetal e seu uso em altos-fornos ressaltam as vantagens desse recurso, reduzindo as emissões da siderurgia brasileira em relação à média global.

<sup>29</sup> No que se refere à fabricação desses produtos a partir de carvão vegetal.



fundamental para a redução das emissões do setor industrial no país (Instituto Aço Brasil 2021).

Além disso, esforços para o desenvolvimento de equipamentos inovadores para o controle de emissões e o manejo da sucata destacaram a produção brasileira no cenário internacional (World Steel Association 2023b). O uso de sucata nos processos produtivos contribui para a redução das emissões, pois cada tonelada de sucata reciclada evita aproximadamente 1,5 toneladas de emissões de CO<sub>2</sub> (Instituto Aço Brasil 2021). Em relação ao consumo de energia elétrica, mais de 50% da energia utilizada pela siderurgia brasileira foi proveniente de autogeração, aproveitando gases de coqueria, altos-fornos e aciaria nas centrais termoeletricas instaladas nas próprias plantas siderúrgicas (Aço Brasil 2020).

O Brasil possui vantagens competitivas no que se refere à produção de aço de baixo carbono devido à disponibilidade de reservas de minério de ferro e à abundância de fontes renováveis que compõe a matriz energética brasileira (E+ Energy Transition Institute 2022). Atualmente, produtos como vergalhão, tarugo de aço e fios máquina, utilizados principalmente na construção civil, são produzidos de maneira mais sustentável. Além disso, investimentos significativos em tecnologia e na criação de uma rede logística eficiente para melhorias na infraestrutura de transporte e distribuição buscam avançar na produção de aço de baixa emissão (Aço Verde Brasil, 2021). No entanto, apesar dessas vantagens, os produtores brasileiros enfrentam desafios para garantir sua competitividade, bem como uma produção sustentável. Riscos associados ao preço elevado dos combustíveis para transição energética (como gás natural) e o alto custo de energia elétrica em relação à média dos principais países produtores podem comprometer a competitividade da produção de aço de baixa emissão no Brasil (Carvalho, Mesquita, and Araújo 2015).

### 3.4 Transição Energética Justa na siderurgia brasileira

Assim como no cenário internacional, a transição energética justa na indústria siderúrgica brasileira também enfrenta inúmeros desafios. Diante disso, a incorporação de diretrizes propostas pela liderança brasileira no G20<sup>30</sup> é essencial para fomentar a discussão sobre a produção siderúrgica no Brasil, evitando riscos e impactos negativos inerentes ao setor, descritos na seção 2.4 deste relatório.

Em linhas gerais, também são verificados no Brasil problemas como poluição do ar, danos à saúde da pública, geração de um alto volume de resíduos, disputa por disponibilidade de terra, riscos de estresse hídrico, entre outros. Ademais, as diretrizes da política brasileira buscam antecipar e mitigar potenciais conflitos gerados pelas novas tecnologias emergentes no setor, que apesar de seus benefícios de descarbonização, também podem gerar impactos adversos. Nesse sentido, o governo brasileiro instituiu o Plano Nacional de Transição Energética (PNTE) a fim de integrar políticas públicas para promover uma transição energética justa e inclusiva. Além de impulsionar um desenvolvimento sustentável, o plano tem como objetivo estabelecer um conjunto de ações de longo prazo para mitigar os impactos negativos da transição sobre comunidades e trabalhadores (MME 2024). Para orientar essas medidas, além de

---

<sup>30</sup> Em 2024, como parte de seu compromisso internacional, o Brasil discutiu junto ao G20 estratégias e compromissos para promover uma transição energética justa entre seus países-membros.





considerar esforços de mitigação, o PNTE define transição justa enquanto uma transição energética comprometida com a promoção da equidade e da participação social, minimizando seus impactos para segmentos sociais em condições de vulnerabilidade. Diretrizes como a universalização do acesso à energia; a redução da pobreza energética; o fortalecimento da competitividade do setor de energia, bem como a redução da pobreza e o reconhecimento da diversidade regional do país são relevantes para aproveitar as oportunidades associadas às transformações do setor energético (Brasil 2024).

A implementação de novas tecnologias pode comprometer a prosperidade econômica de regiões dependentes da cadeia de valor dos combustíveis fósseis, por exemplo. Outra questão é a perda de identidade cultural para trabalhadores<sup>31</sup> cujas funções podem se tornar obsoletas com a transição energética. Até mesmo os riscos ambientais associados ao transporte e armazenamento de carbono, presente nas tecnologias de CCS. Apesar de oferecer benefícios como a continuidade das instalações já existentes, o uso de CCS podem enfraquecer e postergar medidas mais efetivas para reduzir a dependência do setor por combustíveis fósseis (CGEE, 2010).

Por sua vez, o desenvolvimento de infraestruturas de energia eólica e solar para produção de hidrogênio também podem intensificar a disputa por terras<sup>32</sup> na Região Nordeste, além de aumentar o preço da eletricidade, prejudicando o acesso à energia por comunidades mais desfavorecidas. Da mesma forma, o uso de biomassa no país enfrenta obstáculos como o uso de carvão vegetal proveniente de florestas nativas, que também afeta a biodiversidade da região. Além disso, essa rota pode comprometer a qualidade do ar nas regiões que abrigam os altos-fornos, caso não seja combinada com tecnologias de CCS (CGEE 2010).

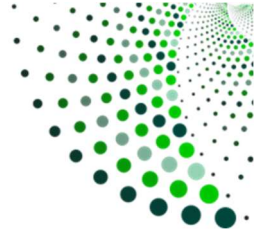
Nesse sentido, é essencial definir diretrizes para uma transição energética justa que orientem as empresas siderúrgicas para uma produção mais sustentável, independentemente das rotas tecnológicas utilizadas. Essas diretrizes devem considerar aspectos sociais e ambientais ao longo de toda a cadeia de valor tanto das tecnologias tradicionais quanto das que ainda estão em discussão, incluindo as comunidades afetadas na construção dessas soluções a fim de evitar a reprodução das desigualdades intrínsecas aos sistemas energéticos atuais. Para uma melhor avaliação sobre o *status quo* da produção siderúrgica no país, a próxima seção apresenta um mapeamento dos indicadores socioambientais considerados atualmente para produção de aço, monitorando os impactos das rotas tecnológicas adotadas no Brasil.

---

<sup>31</sup> Na siderurgia brasileira, o perfil dos trabalhadores no setor é majoritariamente masculino, com cerca de 90% do efetivo composto por homens, na faixa etária de 31 a 40 anos. Jovens entre 21 e 30 anos ingressam na indústria principalmente através de programas de Primeiro Emprego. Trabalhadores com idades entre 41 e 50 anos representam 26% do efetivo próprio. No que diz respeito ao nível educacional, 72,1% dos empregados diretos possuem ensino médio completo. Em relação à diversidade, aproximadamente 49% dos trabalhadores são negros, 39% são brancos, 1% são amarelos, 0,2% são indígenas 19 (Aço Brasil 2020).

<sup>32</sup> Mesmo no caso das eólicas offshore, que apresentam grande potencial para produção de hidrogênio no nordeste brasileiro, observam-se questões como geração de resíduos sólidos e oleosos, deterioração da qualidade da água impactos na biodiversidade (Cox and Nogueira 2024).





### 3.5 Indicadores socioambientais na indústria siderúrgica brasileira

À medida que o setor siderúrgico busca alinhar suas operações com os padrões internacionais de sustentabilidade, as empresas siderúrgicas brasileiras têm considerado indicadores sociais e ambientais em sua produção. Tal movimento é essencial para enfrentar os desafios socioambientais associados à produção siderúrgica no país. Problemas como desmatamento de florestas nativas para o cultivo de carvão vegetal; condições de trabalho insalubres; gestão inadequada da extração de madeira, que resultam na perda de biodiversidade; erosão do solo; secas e outros danos relacionados ao uso da terra são alguns dos impactos negativos que precisam ser avaliados (de Souza and Pacca 2021).

Essas questões enfatizam a necessidade de expandir a discussão sobre os critérios socioambientais da produção siderúrgica para além do controle de emissões, incluindo aspectos de uma transição justa como elemento crucial. Isso é especialmente importante para países em desenvolvimento, onde soluções adaptadas à realidade das comunidades podem proporcionar benefícios duradouros e inclusivos, promovendo melhorias para a população que estejam alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Learn and Khasru 2023)

A tabela abaixo apresenta os indicadores sociais e suas respectivas descrições apresentadas pelo Instituto Aço Brasil, órgão representante da indústria siderúrgica no Brasil:

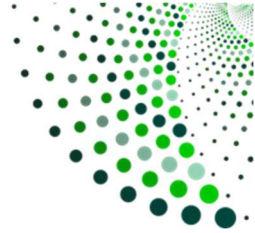
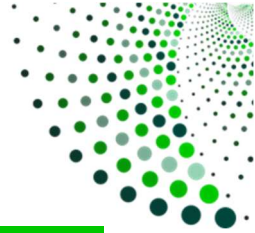
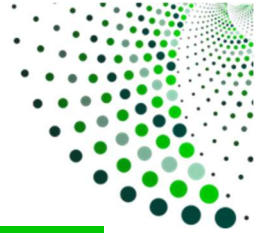


Tabela 8: Indicadores sociais na siderurgia no Brasil

Sociais	Descrição
Funcionários próprios	Colaboradores
Funcionários terceirizados	Colaboradores
Efetivo por gênero (%)	Porcentagem de homens e mulheres
Efetivo por raça (%)	Porcentagem de negros, brancos, amarelos e indígenas
Efetivo por faixa etária (%)	Até 20 anos 21 a 30 anos 31 a 40 anos 41 a 50 anos Acima de 50 anos
Efetivo por escolaridade (%)	Ensino Completo Ensino Médio Ensino Superior Pós-graduação
Tempo de empresa (%)	Até 1 ano 2 a 5 anos 6 a 10 anos 11 a 20 anos 21 a 30 anos Acima de 30 anos
Tempo médio de trabalho na empresa	Em anos
Admissões e demissões	Admissões e demissões Admissões Demissões
Taxa de Rotatividade (%)	Turnover
Total de acidentes	Efetivo próprio Efetivo de terceiros
Acidentes por tipo - efetivo próprio	No trabalho No trajeto
Acidentes Fatais	Efetivo próprio Efetivo de terceiros



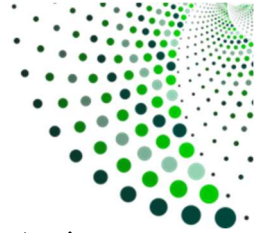
Sociais	Descrição
Funcionários próprios	Colaboradores
Funcionários terceirizados	Colaboradores
Efetivo por gênero (%)	Porcentagem de homens e mulheres
Efetivo por raça (%)	Porcentagem de negros, brancos, amarelos e indígenas
Efetivo por faixa etária (%)	Até 20 anos 21 a 30 anos 31 a 40 anos 41 a 50 anos Acima de 50 anos
Efetivo por escolaridade (%)	Ensino Completo Ensino Médio Ensino Superior Pós-graduação
Tempo de empresa (%)	Até 1 ano 2 a 5 anos 6 a 10 anos 11 a 20 anos 21 a 30 anos Acima de 30 anos
Tempo médio de trabalho na empresa	Em anos
Benefícios	Alimentação Transporte Integral Creche/Auxílio Creche Seguro de vida Plano de saúde Cobertura para incapacidade e invalidez Prévidencia privada Participação nos lucros e resultados
Instrumentos de avaliação de impactos e programas de desenvolvimento nas comunidades locais	Avaliação do impacto social Avaliação do impacto ambiental e monitoramento Transparência dos resultados das avaliações de impactos sociais e ambientais Programas de desenvolvimento local baseados nas necessidades das comunidades Mapeamento de públicos para definição de planos de engajamento e participação Canais formalizados para relacionamento com a comunidade local



Sociais	Descrição
Funcionários próprios	Colaboradores
Funcionários terceirizados	Colaboradores
Efetivo por gênero (%)	Porcentagem de homens e mulheres
Efetivo por raça (%)	Porcentagem de negros, brancos, amarelos e indígenas
Efetivo por faixa etária (%)	Até 20 anos 21 a 30 anos 31 a 40 anos 41 a 50 anos Acima de 50 anos
Efetivo por escolaridade (%)	Ensino Completo Ensino Médio Ensino Superior Pós-graduação
Tempo de empresa (%)	Até 1 ano 2 a 5 anos 6 a 10 anos 11 a 20 anos 21 a 30 anos Acima de 30 anos
Tempo médio de trabalho na empresa	Em anos
Avaliação de fornecedores	Inclui políticas e critérios pra o relacionamento com os fornecedores em seu código de conduta e/ou declaração de valores. Ao selecionar fornecedores ou desenvolver novos fornecedores, inclui como critério a prática efetiva de processos éticos de gestão das informações de caráter privado obtidas, em suas relações com o cliente ou o mercado em geral. Possui política explícita ou programa específico de responsabilidade social empresarial para a cadeia de fornecedores. Discute questões relacionadas à responsabilidade social com seus fornecedores, visando o treinamento e adequação deles e seus critérios.

Fonte: Instituto Aço Brasil, 2023

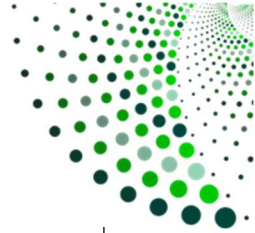
De acordo com a Confederação Nacional da Indústria, 63% das empresas do setor industrial pretendem ampliar seus investimentos em sustentabilidade (CNI 2021). As soluções voltadas para maior preservação ambiental buscam melhorar a reputação das



empresas junto à sociedade e aos consumidores, além de atender às exigências regulatórias. Nesse aspecto, a adoção de critérios para operar que incluam o risco de crises hídricas, eficiência no consumo de energia, bem como a disposição adequada de resíduos são considerados no Brasil. A tabela abaixo apresenta os principais indicadores ambientais adotados pela siderurgia no país, juntamente com suas respectivas descrições:

*Tabela 9: Indicadores ambientais considerados na siderurgia no Brasil*

Ambientais	Descrição
Investimentos ambientais (US\$)	Investimentos diretos para a prevenção e/ou mitigação de impactos ambientais (milhões US\$)
Certificações ambientais (% da produção de aço bruto com certificação)	ISO 9001 – Atesta boas práticas de gestão e de relacionamento entre clientes e fornecedores ISO 14001 – Exige comprometimento com a prevenção da poluição e com melhorias contínuas, parte do ciclo normal de gestão empresarial ISO 45001 – Define os requisitos para melhores práticas em gestão de saúde e segurança ocupacional <sup>1</sup> FSC (Forest Stewardship Council International) – Atesta que as matérias-primas de um produto não agridem o meio ambiente <sup>2</sup> CERFLOR – Visa à certificação do manejo florestal sustentável e da cadeia de custódia de produtos de base florestal <sup>2</sup>
Consumo de matérias-primas	Minérios e fundentes Carvão e coque Metálicos e ligas Insumos energéticos Outros Insumos
Origem da energia elétrica (%)	Geração própria Comprada
Matriz Energética	Carvão Mineral/Coque Derivados de Petróleo Carvão Vegetal Energia elétrica
Água doce recirculada	Água doce recirculada (106 m <sup>3</sup> )
Reaproveitamento de água (%)	Reaproveitamento de água (%)
Geração específica de coprodutos e resíduos (kg/t aço bruto)	Geração específica de coprodutos e resíduos (kg/t aço bruto)
Destinação de coprodutos e resíduos	Reaproveitamento Estoque Disposição final

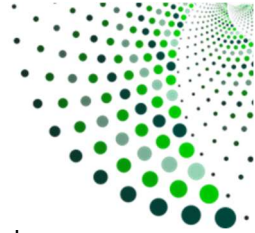


Geração de coprodutos e resíduos por tipo	Agregado de Alto-Forno Agregado de Aciaria Finos e pós Lamas
Destinação de agregados siderúrgicos de alto-forno	Destinação de agregados siderúrgicos de alto-forno Venda Estoque passivo
Destinação de agregados siderúrgicos de aciaria e outros resíduos	Destinação de agregados siderúrgicos de aciaria e outros resíduos Venda Reutilização Doação Estoque passivo Disposição final
Aplicação dos agregados siderúrgicos de aciaria e outros resíduos	Aplicação dos agregados siderúrgicos de aciaria e outros resíduos Base e sub-base de estrada Nivelamento de terreno Outros Produção de cimento Uso agrônômico Agregados de concreto
Produção de aço bruto via rota integrada de carvão vegetal (%)	Produção de aço bruto via rota integrada de carvão vegetal (%) Rota integrada a carvão vegetal
Origem do carvão vegetal (%)	Origem do carvão vegetal (%) Florestas próprias Florestas de terceiros Resíduos florestais legalizados
Área de reflorestamento (Ha)	Áreas para produção de carvão vegetal
Área de reflorestamento (%)	Áreas de proteção e restauração ambiental mantidas por empresas em razão de requisitos legais Áreas de proteção e restauração cultivadas voluntariamente Florestas de uso econômico
Emissões de GEE	Emissão específica - Metodologia Worldsteel (t CO <sub>2</sub> /t aço bruto) Emissão específica - Metodologia IPCC (t CO <sub>2</sub> /t aço bruto)

Fonte: Instituto Aço Brasil, 2023

O setor siderúrgico brasileiro enfrenta desafios consideráveis de sustentabilidade ao longo de toda sua cadeia de valor, como a busca por eficiência energética e o uso racional de recursos. Nesse sentido, o compromisso social das empresas ganha cada vez mais relevância. Apesar desse avanço, ao avaliar os critérios socioambientais adotados no Brasil, observa-se que, assim como ocorre no contexto da siderurgia mundial, o setor





carece de uma definição mais precisa sobre seus indicadores, bem como sobre as premissas e referências consideradas para mensurar se sua implementação é bem-sucedida ou não. Faltam métricas e critérios claros para avaliar o que constitui um diálogo eficiente com as comunidades e uma gestão sustentável da água, por exemplo, visto que não há uma referência nacional sólida para orientar práticas bem-sucedidas nesse campo. Para validar as conclusões obtidas através da revisão da literatura sobre o *status quo* desta indústria em termos sustentabilidade socioambiental e o alinhamento do setor siderúrgico brasileiro com a promoção da uma transição energética justa, a próxima seção deste relatório apresenta uma investigação mais aprofundada a partir dos resultados das entrevistas realizadas com *stakeholders* relevantes para o setor no Brasil.

## 4. Resultados das entrevistas com *stakeholders*

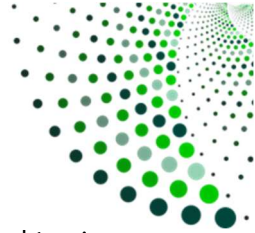
Esta seção apresenta os resultados das consultas com especialistas, realizadas por meio de entrevistas com *stakeholders* relevantes para a siderurgia brasileira. Além disso, detalha-se o método e as perguntas utilizadas nas entrevistas com empresas siderúrgicas, bancos, associações e organizações da sociedade civil. Em seguida, a seção aborda os indicadores socioambientais mais mencionados pelos entrevistados, avaliando o nível de consenso entre eles sobre os desafios e oportunidades para promover uma transição energética justa no setor.

### 4.1 Entrevistas com *stakeholders*

Para operacionalizar as entrevistas, aplicou-se um questionário adaptado para cada uma das instituições entrevistadas, de acordo com o seu ramo de atuação. Entendeu-se que a participação de diferentes atores permite uma perspectiva holística e participativa sobre a descarbonização do setor siderúrgico e seus potenciais de transformação para uma transição energética justa. A seleção dos entrevistados foi criteriosa, considerando sua relevância e influência direta na transição para a produção de aço sustentável. Esse processo considerou organizações provenientes das seguintes áreas de atuação: indústrias siderúrgicas, bancos, associações, e organizações da sociedade civil.

Nesta etapa, as perguntas aplicadas abordaram diretamente os principais desafios e oportunidades relacionados à transição do setor siderúrgico para uma produção mais sustentável e inclusiva. Além disso, discutiu-se temas como tecnologias, desafios financeiros e estruturais, impactos socioambientais e competitividade em mercados globais. Ao explorar questões sobre diversidade, equidade e inclusão, as entrevistas fornecem *insights* sobre como as empresas siderúrgicas estão incorporando práticas sociais mais justas em suas operações, algo fundamental para que a transição energética leve em consideração tanto os impactos ambientais quanto os sociais. Esses aspectos ajudam a avaliar se o setor está alinhado com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e com a promoção de uma transição energética justa.

Além disso, as perguntas focadas em descarbonização e inovação tecnológica são cruciais para entender como as empresas estão se preparando para atender às exigências de uma economia de baixo carbono, especialmente considerando as metas globais de neutralidade de carbono até 2050. Elas investigam as barreiras tecnológicas e regulatórias, como a adaptação às novas regulações europeias, além de seus impactos econômicos e sociais locais. Assim, essas questões permitem traçar um panorama sobre



a competitividade do aço brasileiro em mercados futuros e sobre o papel da indústria siderúrgica no contexto da sustentabilidade global.

Nesse sentido, as entrevistas orientaram-se por duas questões principais: a) perguntas relacionadas à diversidade, equidade e inclusão na organização; b) perguntas relacionadas à inclusão/aceitação de processos produtivos do aço menos intensivos em GEE e alinhados aos ODS. As perguntas abordaram:

- Impactos econômicos, sociais e ambientais do aço de baixa emissão;
- Existência de metas climáticas de descarbonização;
- Alinhamento da produção com regulações internacionais como o CBAM;
- Competitividade do aço brasileiro à medida que se inicia a produção de aço de baixa emissão;
- Rotas tecnológicas para o aço de baixa emissão;
- Impactos do aço de baixa emissão no uso da terra, movimentos migratórios de seres humanos e consumo de água;
- Perspectivas para emprego e qualificação profissional;
- Impactos nas comunidades;
- Referências de boas práticas em outros países.

Os resultados das entrevistas indicam a prevalência de um otimismo cauteloso, impulsionado pelas oportunidades de inovação e pela percepção de que a demanda por aço verde aumentará globalmente. No entanto, esse otimismo é acompanhado de preocupações significativas em relação aos custos da transição, à falta de infraestrutura e à competitividade global. A mudança para uma produção siderúrgica sustentável é vista como necessária e inevitável, mas o caminho para alcançá-la ainda apresenta muitos obstáculos financeiros, tecnológicos e regulatórios a serem superados.

## 4.2 Indicadores socioambientais relatados pelos *stakeholders*

O estudo teve uma abordagem qualitativa, com base em entrevistas semiestruturadas e análise comparativa das respostas. Ao avaliar os indicadores socioambientais apresentados pelos relatórios de sustentabilidade das indústrias que atuam no setor, observou-se que apesar da variedade de indicadores presentes na literatura, a siderurgia brasileira considera principalmente questões relacionadas a emissões de GEE; consumo energético; participação de fontes de energias renováveis no consumo total de energia, captação e consumo de água e equidade de gênero. Os gráficos box-plot apresentados abaixo trazem uma visão comparativa de indicadores de sustentabilidade de empresas do setor de mineração e metalurgia no Brasil, oferecendo uma base para análise de *benchmarking*:

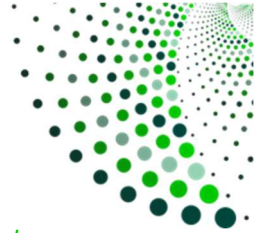
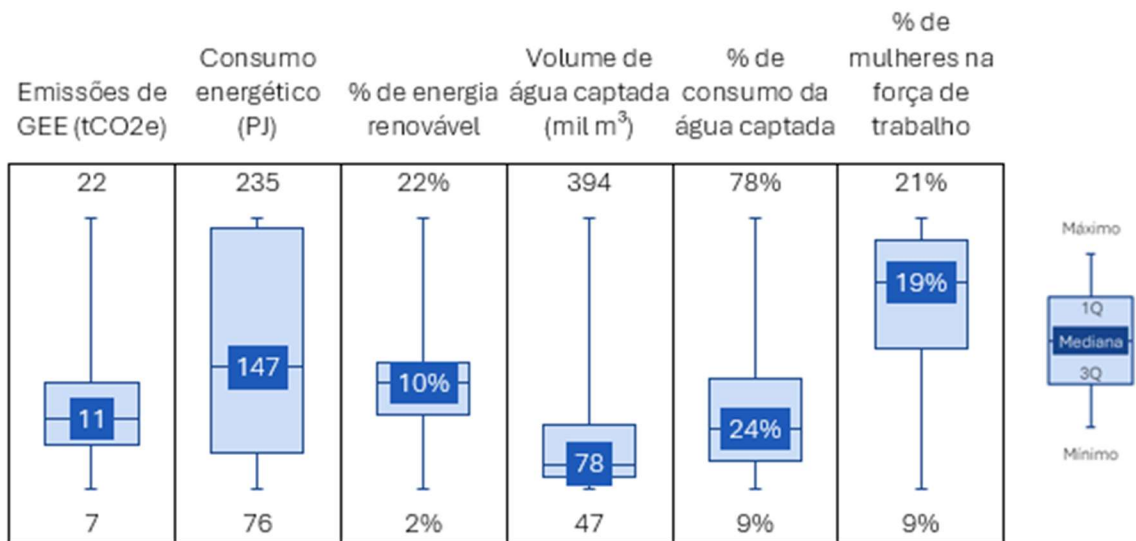


Figura 4: Comparação dos indicadores de sustentabilidade mencionados pelos entrevistados



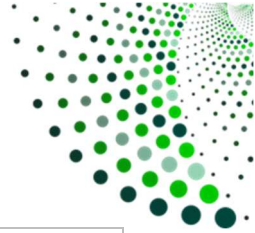
Fonte: Elaboração própria

Primeiramente, observa-se uma grande variabilidade no consumo energético, com valores que variam de 76 a 235 petajoules (PJ), sugerindo diferenças significativas na eficiência energética e no porte das operações entre as empresas analisadas. Além disso, o baixo percentual de energia renovável (variando entre 2% e 22%) indica uma limitada adoção de fontes sustentáveis, o que pode sinalizar uma oportunidade para o setor reduzir sua pegada de carbono e aumentar a resiliência energética, à medida que as pressões por práticas mais sustentáveis crescem.

Outro aspecto notável é a grande dispersão no volume de água captada, que varia entre 47 e 394 mil m<sup>3</sup>. No entanto, apenas uma pequena parte dessa água é consumida, com um uso que varia de 9% a 78% da água captada, o que sugere diferenças marcantes na gestão hídrica entre as empresas. A porcentagem de mulheres na força de trabalho, que varia de 9% a 21%, revela uma representatividade feminina relativamente baixa, destacando uma área em que o setor pode evoluir em termos de diversidade e inclusão. Esses dados fornecem uma visão clara de onde estão as maiores oportunidades de melhoria, tanto em questões ambientais quanto sociais, no setor de mineração e metalurgia.

Além disso, a análise identificou padrões, convergências e divergências entre os principais tópicos, como descarbonização, viabilidade econômica, infraestrutura necessária e políticas públicas associadas, resultando em uma análise SWOT, avaliando as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças enfrentadas pelo setor no processo de descarbonização.

Para analisar as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças enfrentadas pelo setor nesse processo de descarbonização, a análise SWOT identificou os seguintes elementos:-

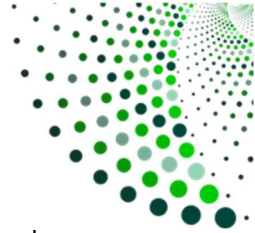


<b>FORÇAS</b> <ul style="list-style-type: none"><li>● Abundância de fontes de energia renovável</li><li>● Vantagem comparativa no mercado global</li><li>● Capacidade de reciclagem de aço</li></ul>	<b>FRAQUEZAS</b> <ul style="list-style-type: none"><li>● Alto custo de implementação de novas tecnologias</li><li>● Falta de infraestrutura</li><li>● Concorrência desleal com aço importado de menor custo</li><li>● Ausência de metas claras para o setor</li></ul>
<b>OPORTUNIDADES</b> <ul style="list-style-type: none"><li>● Crescimento da demanda global por aço de baixa emissão</li><li>● Maior qualificação da mão de obra regional</li><li>● Elevar a renda média das comunidades</li><li>● Desenvolvimento regional e geração de empregos</li><li>● Percepção positiva das comunidades</li><li>● Políticas públicas e incentivos</li></ul>	<b>AMEAÇAS</b> <ul style="list-style-type: none"><li>● Dependência de subsídios e incentivos</li><li>● Dificuldade de implementação das tecnologias de baixa emissão</li><li>● Concorrência internacional e perda de competitividade</li><li>● Demanda por soluções adaptadas às especificidades de cada região</li><li>● Elevado custo decorrente das externalidades sociais</li><li>● Arcabouço regulatório incipiente</li></ul>

O Brasil possui uma matriz energética majoritariamente renovável (hidrelétricas, eólica, solar), o que pode ser um diferencial competitivo significativo para a produção de aço de baixa emissão utilizando hidrogênio verde e outras tecnologias de descarbonização. Além disso, a siderurgia brasileira já possui uma forte capacidade de produção a partir de sucata, que é um dos pilares para a redução de emissões no setor, reciclando milhões de toneladas de sucata anualmente. O potencial do Brasil para se tornar um líder global na exportação de aço de baixa emissão é amplamente reconhecido, especialmente devido à pressão regulatória em mercados internacionais, como a Europa, que estão implementando mecanismos como o CBAM.

Por outro lado, tecnologias emergentes como o hidrogênio verde CCS ainda apresentam custos elevados, tornando a implementação em larga escala uma barreira significativa, especialmente sem subsídios ou incentivos governamentais. A ausência de uma infraestrutura para o transporte e armazenamento de hidrogênio verde e gás natural ainda é insuficiente, o que limita a adoção dessas tecnologias no curto prazo. Isso coloca o Brasil em desvantagem em relação a países que já têm infraestrutura avançada para energia renovável e descarbonização.

O setor também enfrenta uma concorrência acirrada com aço importado de menor custo, o que reduz a competitividade do aço de baixa emissão no mercado global e dificulta a justificação de altos investimentos em tecnologias de descarbonização. Essas fraquezas também podem comprometer a capacidade das empresas em arcar com os custos adicionais necessários para promover uma transição energética justa para o setor, visto que essas melhorias envolvem investimentos significativos que podem ameaçar a rentabilidade das empresas.



Os entrevistados apontam que a crescente demanda por aço de baixa emissão pode ser uma oportunidade, considerando especialmente essa exigência na Europa e em outros mercados que estão adotando políticas de descarbonização rigorosas. O Brasil pode capitalizar essa tendência, tornando-se um fornecedor estratégico de aço verde. A transição para a produção de aço de baixa emissão também pode gerar desenvolvimento econômico em regiões desfavorecidas, como o Nordeste, e criar milhares de novos empregos em setores emergentes, como o de energias renováveis e hidrogênio verde. Além disso, a demanda por novos empregos de maior qualificação pode elevar a renda média das comunidades, gerando benefícios na região e uma melhor percepção das comunidades.

Concomitantemente a essas oportunidades, a viabilidade de muitas das tecnologias de descarbonização depende de subsídios governamentais e financiamento externo. Sem um suporte financeiro adequado, as empresas brasileiras podem não conseguir acompanhar o ritmo de inovação necessário para competir globalmente e nem arcar com os custos sociais necessários para a promoção de uma transição energética justa. Ademais, a concorrência predatória com aço importado de menor podem afetar a competitividade da indústria siderúrgica brasileira e prejudicar seus esforços em promover uma transição energética justa.

### **4.3 Nível de consenso entre os stakeholders**

Embora exista um consenso claro sobre a inevitabilidade da descarbonização, as opiniões divergem em relação ao horizonte de implementação das novas tecnologias, como o hidrogênio verde, e o foco prioritário entre o mercado interno e externo. O alto nível de concordância sobre a necessidade de investimentos em infraestrutura, políticas públicas e capacitação da mão de obra indica que esses fatores serão cruciais para a transição do setor siderúrgico brasileiro para um futuro de baixa emissão.

#### **4.3.1 Alto consenso**

##### **a) Importância da Capacitação de Mão de Obra e Desenvolvimento Regional**

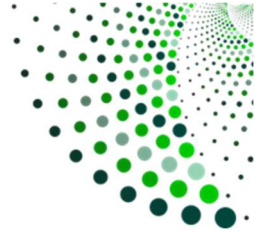
Existe um acordo amplo sobre a necessidade de capacitação da mão de obra e desenvolvimento regional para garantir uma transição energética justa. A capacitação local é vista como essencial para preparar trabalhadores para as novas demandas tecnológicas do setor, e há um consenso de que projetos de descarbonização podem gerar desenvolvimento econômico em regiões desfavorecidas, como o Nordeste brasileiro.

##### **b) Vantagem Comparativa do Brasil em Energias Renováveis**

O Brasil é visto como um país com vantagens comparativas importantes, devido à sua matriz energética renovável. Essa característica coloca o país em uma posição favorável para liderar a produção de aço de baixa emissão, especialmente à medida que a demanda por produtos sustentáveis aumenta no mercado global.

##### **c) Descarbonização como um processo inevitável**

A descarbonização do setor siderúrgico é inevitável e que as empresas precisarão adotar novas tecnologias para reduzir suas emissões e atender às demandas globais de



sustentabilidade. Não há dúvida de que o setor precisará transformar seus processos produtivos para se alinhar com as metas climáticas globais e locais.

#### **d) Gás Natural como solução transitória**

Há um consenso de que o gás natural desempenhará um papel crucial como solução transitória até que tecnologias como o hidrogênio verde e a captura de carbono (CCS) se tornem economicamente viáveis em larga escala. O gás natural é visto como a melhor alternativa para reduzir emissões no curto e médio prazo, enquanto as tecnologias emergentes ainda precisam de tempo para amadurecer.

### **4.3.2 Baixo consenso**

#### **a) Horizonte de Adaptação às Novas Tecnologias**

Um grande ponto de divergência importante é o ritmo de adaptação das novas tecnologias de descarbonização, como o hidrogênio verde e CCS. Há um desalinhamento entre entrevistados que acreditam que essas tecnologias podem ser implementadas no curto prazo e aqueles que veem a transição como um processo que levará décadas. Enquanto alguns entrevistados veem a adoção dessas tecnologias como algo que pode ocorrer nos próximos anos, à medida que os custos de produção diminuem e a infraestrutura é construída, outros acreditam que o processo de descarbonização será mais lento e gradual, levando décadas para que essas tecnologias se tornem viáveis e acessíveis em termos econômicos.

Essas divergências afetam os investimentos em novas plantas e tecnologias. Empresas que acreditam em uma adaptação rápida podem investir mais agressivamente em infraestrutura e tecnologia, enquanto as que adotam uma visão de longo prazo podem optar por melhorias incrementais nas tecnologias existentes, como a otimização de altos fornos e o uso de gás natural. Esse descompasso pode também afetar a competitividade internacional, dependendo da velocidade com que diferentes empresas se adaptam às exigências do mercado global.

#### **b) Foco no Mercado Interno versus Mercado Externo**

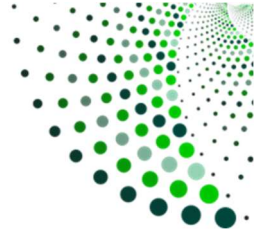
A divergência entre o foco no mercado interno e externo também representa um ponto de baixo consenso. Enquanto alguns entrevistados acreditam que o Brasil deve priorizar o mercado internacional, especialmente a Europa, para exportar aço de baixa emissão, outros veem a necessidade de desenvolver um mercado doméstico robusto como parte da estratégia de descarbonização.

Alguns entrevistados acreditam que a demanda internacional, principalmente da Europa devido a mecanismos como o CBAM, será o principal motor de crescimento para o aço de baixa emissão. Estão focados em exportações e acreditam que o mercado global, especialmente as regiões mais avançadas em termos de regulação ambiental, oferecerá o maior potencial de retorno para o aço de baixa emissão brasileiro.

Em contrapartida, outros destacam a importância de desenvolver um mercado interno de aço de baixa emissão, com apoio de políticas públicas, incentivos fiscais e subsídios locais. Veem o crescimento do mercado doméstico como essencial para sustentar a transição, especialmente porque a demanda interna ajudaria a reduzir custos e melhorar a escala de produção das novas tecnologias.

A divergência entre o foco no mercado interno e externo afeta as estratégias de crescimento e investimento. Instituições focadas no mercado externo podem alinhar





suas operações e produtos para atender a padrões regulatórios internacionais, enquanto aquelas que priorizam o mercado interno podem se concentrar em fortalecer a demanda doméstica. Isso também tem implicações para o desenvolvimento de políticas públicas, que precisariam considerar ambos os enfoques para garantir um crescimento equilibrado do setor.

### c) Viabilidade de Implementação do Hidrogênio Verde

Um dos pontos mais polarizadores entre os entrevistados é a viabilidade de curto prazo do hidrogênio verde como solução para a descarbonização da produção de aço. O hidrogênio verde é amplamente reconhecido como uma tecnologia importante para atingir as metas de emissões líquidas zero, mas o custo elevado de produção e a falta de infraestrutura adequados geram divergências sobre quando e como ele poderá ser implementado em larga escala. Alguns entrevistados acreditam que o Brasil tem vantagens significativas para acelerar a implementação do hidrogênio verde.

Por outro lado, outros entrevistados expressam uma postura mais cética quanto à viabilidade do H<sub>2</sub> no curto prazo. A principal barreira citada é o alto custo de produção, que ainda é significativamente superior ao de outras tecnologias de descarbonização, como o gás natural. Além disso, a falta de infraestrutura para produção, transporte e uso do H<sub>2</sub> no Brasil torna essa tecnologia uma opção de longo prazo, que dependerá de subsídios governamentais e melhorias substanciais na infraestrutura.

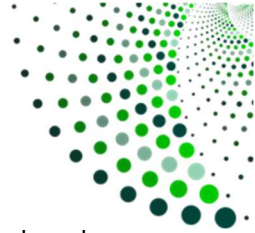
As empresas que estão otimistas com o hidrogênio verde podem iniciar investimentos significativos em infraestrutura e pesquisa, enquanto aquelas com uma visão mais cautelosa podem preferir soluções intermediárias e aguardar por mais clareza regulatória e redução de custos. A falta de consenso dificulta a criação de políticas públicas e incentivos claros para o setor.

## 5. Conclusão

A transição para a produção de aço de baixa emissão no Brasil é um desafio complexo, mas também uma oportunidade estratégica para o país se posicionar como líder global na descarbonização do setor siderúrgico. Os resultados das entrevistas indicam que, embora existam barreiras significativas, como os altos custos de implementação de novas tecnologias, a falta de infraestrutura adequada e a concorrência desleal de produtos siderúrgicos estrangeiros subsidiados, o Brasil possui importantes vantagens comparativas, principalmente sua matriz energética renovável, que pode ser um grande diferencial competitivo.

O otimismo cauteloso observado nas respostas reflete a percepção de que a demanda global por aço verde está crescendo, impulsionada por regulamentações internacionais de carbono. Para capitalizar essa demanda, o país precisará de uma combinação de investimentos robustos, subsídios governamentais, políticas públicas de incentivo e a criação de um mercado de carbono eficiente, evitando que preços baixos de carbono comprometam investimentos mais substanciais em descarbonização. Além disso, a capacitação de mão de obra e o desenvolvimento regional serão essenciais para garantir que os benefícios da transição sejam amplamente distribuídos, especialmente em regiões mais desfavorecidas.

No entanto, divergências em relação ao horizonte de implementação do hidrogênio verde e outras tecnologias de descarbonização indicam que as empresas brasileiras



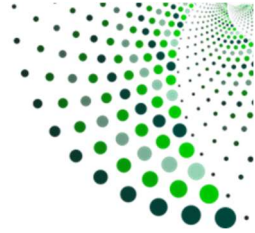
precisam adotar estratégias diferenciadas, dependendo de sua capacidade de investimento e de sua visão sobre o mercado interno e externo. Enquanto algumas empresas veem o hidrogênio verde como uma oportunidade imediata, outras consideram o gás natural como uma solução transitória mais realista no curto prazo. Concomitantemente, as consequências da transição não são claras para o setor, já que o desafio não será o fim das operações em si, mas a adaptação da produção para um cenário onde há incertezas sobre as rotas tecnológicas que serão adotadas. Essas incertezas podem comprometer as metas climáticas do setor, bem como a implementação de questões sociais à sua agenda de sustentabilidade, visto que a descarbonização do setor já representa altos custos que podem prejudicar a competitividade das indústrias.

Externalidades associadas à produção do aço podem aumentar a complexidade e os custos dessa transição. Além do uso de energias limpas, a criação de certificações que incluam aspectos sociais mencionados ao longo deste relatório (criação de empregos decentes, equidade salarial e a satisfação das comunidades) podem gerar custos adicionais. Por mais que os custos socioeconômicos das políticas de descarbonização possam afetar o apoio popular à essas medidas, negligenciar princípios associados à transição energética justa pode resultar na perpetuação de padrões de exploração e desapropriação que caracterizam a economia política global atual.

Outro ponto crítico é a conjuntura social brasileira, marcada por profundas desigualdades e assimetrias. A falta de gerenciamento adequado dos impactos socioambientais na produção siderúrgica pode agravar a situação de vulnerabilidade em diversas regiões do país, onde a população já enfrenta realidades socioeconômicas desafiadoras. Diante desse cenário, esforços adicionais para aprimorar esses indicadores representam custos extras que podem prejudicar a competitividade do aço brasileiro, já pressionado pela concorrência de aços importados a preços mais baixos. Portanto, para que uma transição energética justa seja efetiva, é fundamental aprimorar esses indicadores e garantir políticas públicas e subsídios que possam viabilizar melhores benefícios para as comunidades.

Além disso, assim como ocorre internacionalmente, apesar da siderurgia brasileira considerar critérios socioambientais em sua produção, o setor carece de uma definição mais precisa sobre seus indicadores, bem como sobre as premissas e referências consideradas para mensurar se sua implementação é bem-sucedida ou não. A ausência de métricas e critérios claros para avaliar o que constitui um uma gestão sustentável da água, por exemplo, prejudica a avaliação sobre práticas bem-sucedidas nesse campo, visto que não há uma referência nacional sólida para orientar as empresas que atuam no setor. Ademais, enquanto há uma discussão global sobre diferentes certificações para a produção de aço de baixa emissão, o mesmo não ocorre para avaliar os aspectos sociais necessários para promoção de uma transição energética justa no setor.

Nesse sentido, o sucesso da transição para a produção sustentável de aço no Brasil dependerá de uma forte coordenação entre o setor privado, o governo, as comunidades, a sociedade civil e as instituições financeiras. As ações tomadas nos próximos anos serão determinantes para que o Brasil possa consolidar sua posição no mercado global de aço de baixa emissão e, ao mesmo tempo, promover o desenvolvimento social e econômico de maneira justa e inclusiva.



## **6. Recomendações**

### **6.1 Requalificação e Capacitação dos Trabalhadores**

Investir em programas de capacitação para que os trabalhadores da indústria siderúrgica possam se adaptar às novas tecnologias de baixo carbono, como o uso de hidrogênio verde e a captura e armazenamento de carbono (CCS). Esses programas devem garantir que os trabalhadores tenham acesso a oportunidades de emprego em uma economia verde, minimizando os impactos sociais da transição energética. O desenvolvimento de habilidades para operar novas tecnologias e a criação de empregos dignos são essenciais para garantir uma transição justa.

### **6.2 Participação das Comunidades e Diálogo Social**

Promover o envolvimento ativo das comunidades locais e sindicatos nas decisões relacionadas à descarbonização da indústria de aço. Isso pode ser alcançado por meio de consultas públicas, garantindo que as vozes dos trabalhadores e das populações diretamente afetadas pelas mudanças sejam ouvidas e respeitadas. A implementação de uma transição energética justa deve garantir que as comunidades tenham uma participação efetiva no processo decisório.

### **6.3 Incentivos para a Adoção de Tecnologias Verdes**

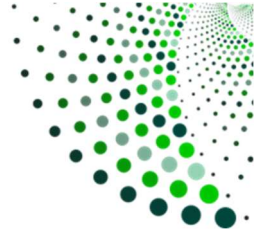
Desenvolver políticas públicas que incentivem a adoção de tecnologias de baixo carbono na produção de aço, como o uso de biomassa, o hidrogênio verde e CCS. Além de promover a inovação tecnológica, essas políticas devem incluir mecanismos de financiamento acessível, especialmente para pequenas e médias empresas do setor siderúrgico, para que possam investir em infraestrutura verde sem comprometer sua competitividade.

### **6.4 Distribuição Justa dos Benefícios da Transição Energética**

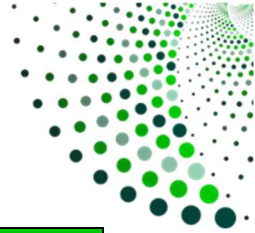
Garantir que os benefícios econômicos e sociais gerados pela descarbonização sejam distribuídos de forma equitativa. Isso inclui a promoção de empregos verdes, a melhora nas condições de trabalho e o desenvolvimento de iniciativas que favoreçam as regiões mais vulneráveis, assegurando que a transição energética contribua para a redução da desigualdade social e o desenvolvimento econômico local.

### **6.5 Monitoramento e Transparência nos Impactos Socioambientais**

Implementar um sistema robusto de monitoramento dos impactos socioambientais da descarbonização da indústria siderúrgica. Esse sistema deve incluir indicadores de justiça social, como geração de empregos, equidade de gênero e raça, bem como a qualidade de vida das comunidades afetadas. Transparência e prestação de contas sobre os

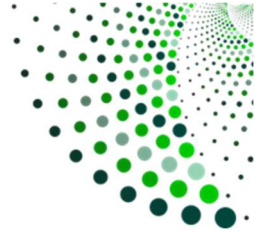


impactos das mudanças nas práticas de produção de aço são cruciais para assegurar que os aspectos sociais da transição energética sejam abordados de forma eficaz.



## Lista de abreviações

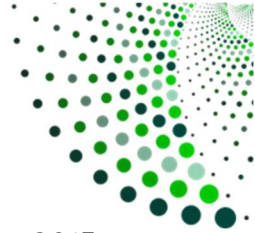
Abreviação	Significado
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
BF	Alto forno
BOF	Forno de oxigênio básico
CBAM	Mecanismo de Ajuste de Carbono nas Fronteiras
CCS	Captura e armazenamento de carbono
CCUS	Captura de carbono, uso e armazenamento
CO2	Dióxido de carbono
COP	Conferência das Partes
DAP	Declaração Ambiental de Produtos
DRI	Redução direta de ferro
EAF	Forno a arco elétrico
ETS	Sistema de Comércio de Emissões
EUA	Estados Unidos
G20	Grupo das 20 maiores economias do mundo
GEE	Gases de Efeito Estufa
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
GN	Gás natural
GRI	Global Reporting Initiative
GSCC	Global Steel Climate Standard
H2	Hidrogênio
H2V	Hidrogênio verde
IEA	Agência Internacional de Energia
IRENA	Agência Internacional de Energia Renovável
MME	Ministério de Minas e Energia
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PJ	Petajoules
SASB	Sustainability Accounting Standards Board
TPI	Transition Pathway Initiative
WSA	Associação Mundial do Aço (World Steel Association)



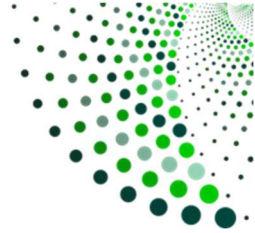
## 7. Referências

- Adams, Walter, and Hans Mueller. 1982. "Industrial Energy Use: Steel Industry." *The Structure of American Industry*: 74–125.
- ArcelorMittal. 2022a. "Establishing a Global Standard for Low-Carbon Emissions Steelmaking." (June).
- . 2022b. "Sustainable Development Overview." *Encyclopedia of Sustainable Management* (December): 1–20. [https://canvas.swansea.ac.uk/courses/36939/pages/sustainable-development?module\\_item\\_id=1705127](https://canvas.swansea.ac.uk/courses/36939/pages/sustainable-development?module_item_id=1705127).
- . 2024. "Steel Is the Power behind Renewable Energy." <https://corporate-cm-uat.arcelormittal.com/media/case-studies/steel-is-the-power-behind-renewable-energy>.
- Aço Brasil. 2020. Instituto Aço Brasil Relatório de Sustentabilidade do Instituto Aço Brasil.
- Aço Verde Brasil. 2021. "Aço Verde do Brasil (AVB) Se Torna a Primeira Usina Siderúrgica Carbono Neutro do Mundo." <https://avb.com.br/wp-content/uploads/2021/02/PDF-02.02-1.pdf>.
- Aaskov, F. 2022. "Net Zero Steel—a Vision for the Future of UK Steel Production." *MakeUK.org/uksteel* (July).
- Bandilla, Karl W. 2020. "Carbon Capture and Storage." *Future Energy: Improved, Sustainable and Clean Options for Our Planet*: 669–92.
- Benavides, Kali et al. 2024. "Mitigating Emissions in the Global Steel Industry: Representing CCS and Hydrogen Technologies in Integrated Assessment Modeling." *International Journal of Greenhouse Gas Control* 131(December 2023).
- Böhringer, Christoph, Knut Einar Rosendahl, and Halvor Briseid Storrøsten. 2017. "Robust Policies to Mitigate Carbon Leakage." *Journal of Public Economics* 149: 35–46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpubeco.2017.03.006>.
- Bloomberg NEF. 2023. "Green Steel Demand Is Rising Faster Than Production Can Ramp Up." <https://about.bnef.com/blog/green-steel-demand-is-rising-faster-than-production-can-ramp-up/>.
- Bloomberg NEF. 2024. BloombergNEF Scaling Up Hydrogen : The Case for Low- Carbon Methanol.
- Brasil. 2024. "Resolução No 5, de 26 de Agosto de 2024, Do Conselho Nacional de Política Energética - CNPE. Aprovo. Em 27 de Agosto de 2024." <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/2024/RESOL5IN.PDF>.
- CADE – Conselho Administrativo de Defesa Econômica. 2022. "Indústria Siderúrgica.": 1–68.
- CNI. 2021. "Pesquisa Indústria & Sustentabilidade." CNI. <https://www.fsbpesquisa.com.br/estudos-publicados/>.
- Carvalho, Pedro S. L., Pedro P. D. Mesquita, and Elizio D. G. Araújo. 2015. "Sustentabilidade Da Siderurgia Brasileira: Eficiência Energética e Competitividade." *BNDES setorial* 41: 181–236. <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/428>.

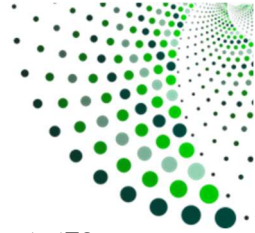




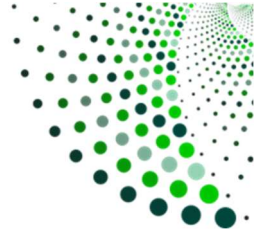
- Carvalho, Pedro S. L., Pedro P. D. Mesquita, and Elizio D. G. Araújo. 2015. "Sustentabilidade da Siderurgia Brasileira: Eficiência Energética e Competitividade." *BNDES Setorial* 41: 181–236. <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/428>.
- Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). 2010. "Siderurgia No Brasil 2010–2025; Subsídios Para Tomada de Decisão." Centro de Gestão e Estudos Estratégicos,: 162. <http://www.cgee.org.br/atividades/redirect.php?idProduto=6831>.
- Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). 2010. "Siderurgia no Brasil 2010–2025; Subsídios para Tomada de Decisão." Centro de Gestão e Estudos Estratégicos: 162. <http://www.cgee.org.br/atividades/redirect.php?idProduto=6831>.
- Comissão Europeia. 2003. "Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council Establishing a Scheme for Greenhouse Gas Emission Allowance Trading within the Community." *Official Journal of the European Union* 275: 32–46.
- . 2023a. "Carbon Border Adjustment Mechanism." [https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism\\_en](https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en).
- . 2023b. CBAM in the Iron and Steel Sector.
- . 2024. "CBAM Declarant Portal." System: 1–9
- Cozier, Muriel. 2014. "Direct and Indirect Land-Use Competition Issues for Energy Crops and Their Sustainable Production – an Overview." *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 8(6): 743.
- Cox, Roberta Mota Cavalcanti de Albuquerque, and Jorge Madeira Nogueira. 2024. "Avaliação de Impacto de Eólicas Offshore No Brasil." *Revista Tempo do Mundo (RTM): n. 32, ago. 2023* (32): 319–41.
- De Souza, Jhonathan Fernandes Torres, and Sérgio A. Pacca. 2021. "Carbon Reduction Potential and Costs through Circular Bioeconomy in the Brazilian Steel Industry." *Resources, Conservation and Recycling* 169(January).
- E+ Energy Transition Institute. 2022. "Scoping Paper on the Brazilian Decarbonization – Steel Industry." : 54. [https://emaisenergia.org/wp-content/uploads/2022/09/EDecarbonization\\_Steel\\_Industry.pdf](https://emaisenergia.org/wp-content/uploads/2022/09/EDecarbonization_Steel_Industry.pdf).
- EPE. 2018. "Papel da Biomassa na Expansão da Geração de Energia Elétrica." *Estudos de Longo Prazo; Documento de Apoio ao PNE 2050*: 26. <https://www.epe.gov.br>.
- EPE. 2024. Balanço Energético Nacional.
- EUA. 2024. "President Biden Takes Action to Protect American Workers and Businesses from China's Unfair Trade Practices." <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2024/05/14/fact-sheet-president-biden-takes-action-to-protect-american-workers-and-businesses-from-chinas-unfair-trade-practices/#:-:text=The%20tariff%20rate%20on%20certain,the%20future%20of%20clean%20steel>.
- Fan, Zhiyuan, and S. Julio Friedmann. 2021. "Low-Carbon Production of Iron and Steel: Technology Options, Economic Assessment, and Policy." *Joule* 5(4): 829–62. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joule.2021.02.018>.
- Fărcean, I., G. Proștean, and A. Socalici. 2023. "Sustainable Development Indicators in the Steel Industry." *Journal of Physics: Conference Series* 2540(1).
- G20. 2024. Principles For Just And Inclusive Energy Transitions. Available at:



- <https://www.g20.org/transicoes-energeticas>.
- García-García, Pablo, Óscar Carpintero, and Luis Buendía. 2020. “Just Energy Transitions to Low Carbon Economies: A Review of the Concept and Its Effects on Labour and Income.” *Energy Research and Social Science* 70(April).
- Gielen, Dolf, Deger Saygin, Emanuele Taibi, and Jean Pierre Birat. 2020. “Renewables-Based Decarbonization and Relocation of Iron and Steel Making: A Case Study.” *Journal of Industrial Ecology* 24(5): 1113–25.
- Global Steel Climate Council. 2023. “The Steel Climate Standard.” (April). <https://globalsteelclimatecouncil.org/wp-content/uploads/2023/08/GSCC-Standard-August2023.pdf>.
- Hasanbeigi, Ali, and Adam Sibal. 2023. “What Is Green Steel? Definitions and Scopes from Standards, Initiatives, and Policies around the World.” (January). <https://www.globalefficiencyintel.com>.
- Healy, Noel, and John Barry. 2017. “Politicizing Energy Justice and Energy System Transitions: Fossil Fuel Divestment and a ‘Just Transition.’” *Energy Policy* 108(November 2016): 451–59. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2017.06.014>.
- IEA. 2020a. Iron and Steel Technology Roadmap.
- . 2020b. “Energy Technology Perspectives 2020 – Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage.” *Energy Technology Perspectives 2020 – Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage*.
- . 2023a. “ETP Clean Energy Technology Guide.” <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/etp-clean-energy-technology-guide>.
- . 2023b. “Steel.” <https://www.iea.org/energy-system/industry/steel>.
- . 2023c. “Emissions Measurement and Data Collection for a Net Zero Steel Industry.” *Emissions Measurement and Data Collection for a Net Zero Steel Industry*.
- . 2024. *A Just And Inclusive Energy Transition In Emerging Markets And Developing Economies Energy Planning , Financing , Sustainable Fuels And*.
- ILO – International Labour Organization. 2015. Guidelines for a Just Transition towards Environmentally Sustainable Economies and Societies for All. [http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed\\_emp/@emp\\_ent/documents/publication/wcms\\_432859.pdf](http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_emp/@emp_ent/documents/publication/wcms_432859.pdf).
- ISO – International Organization for Standardization. 2022. “Net Zero Guidelines (IWA 42:2022).” <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:iwa:42:ed-1:v1:en>.
- Instituto Aço Brasil. 2021. “A Indústria Do Aço Está e Continuará Colaborando Para Minimizar Os Impactos Sobre a Mudança Do Clima.”
- . 2021. “Dados do Setor do Aço Brasileiro.” *Instituto Aço Brasil* (60): 38–42.
- . 2024a. “Anuário Estatístico.” 1: 4–6.
- . 2024b. *Indústria do Aço em Números 2024*.
- . 2024c. “Produtos e Tipos de Aço.” <https://acobrasil.org.br/site/produtos/>.
- International Energy Agency; International Renewable Energy Agency, and UN Climate Change High-Level Champions. 2023. *The Breakthrough Agenda Report 2023*.



- Accelerating Sector Transitions Through Stronger International Collaboration. : 1–179.  
<https://www.statista.com/chart/30890/estimated-share-of-co2-emissions-in-the-transportation-sector/>.
- Kim, Jinsoo et al. 2022. “Decarbonizing the Iron and Steel Industry: A Systematic Review of Sociotechnical Systems, Technological Innovations, and Policy Options.” *Energy Research and Social Science* 89(November 2021): 102565.  
<https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102565>.
- Learn, Can, and Syed Munir Khasru. 2023. “Climate Change & Just Energy Transition: What the North.”
- Lee, Hwarang. 2023. “Decarbonization Strategies for Steel Production with Uncertainty in Hydrogen Direct Reduction.”
- Lundmark, Robert, Elisabeth Wetterlund, and Elias Olofsson. 2024. “On the Green Transformation of the Iron and Steel Industry: Market and Competition Aspects of Hydrogen and Biomass Options.” *Biomass and Bioenergy* 182(February): 107100.  
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2024.107100>.
- MCTI. 2021. *Perspectivas Econômicas em África 2014 (Versão Condensada) Quarta Comunicação Nacional do Brasil*.
- Ministério de Minas e Energia. 2023. Programa Nacional de Hidrogênio - PNH2.  
<https://www.gov.br/mme/pt-br/programa-nacional-do-hidrogenio-1>.
- MME. 2024. “Política Nacional de Transição Energética.” <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/dte/cgate/pnte>.
- Morfeldt, Johannes et al. 2015. “Improving Energy and Climate Indicators for the Steel Industry - The Case of Sweden.” *Journal of Cleaner Production* 107: 581–92.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.031>.
- Pathways, Technology, I N The, Steel Industry, and F O R N O N Engineers. 2023. “Technology Pathways in the Steel Industry for Non Engineers.”: 1–8.
- Pei, Jiarui Zhong; Jiansuo. 2022. “Beggar Thy Neighbor? On the Competitiveness and Welfare Impacts of the EU’s Proposed Carbon Border Adjustment Mechanism.”
- ResponsibleSteel. 2024. ResponsibleSteel International Production Standard.
- Ribeiro Gomes, Milena et al. 2024. “Towards H2 Implementation in the Iron- and Steelmaking Industry: State of the Art, Requirements, and Challenges for Refractory Materials.” *Journal of the European Ceramic Society* 44(3): 1307–34.
- Rimini, Michele, Anthony de Carvalho, Fabien Mercier, and Valentina Burrai. 2020. “Barriers to Exit in the Steel Sector.” *OECD Science, Technology and Industry* (93).  
<https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/a26bcd1-en.pdf?expires=1703599460&id=id&accname=guest&checksum=B2A8F28777EDF00276525662FA415F0>.
- SASB. 2023. Sustainability Accounting Standard Sustainable Industry Classification System (SICS) - Iron & Steel Producers.
- SSAB. 2021. “SSAB Entrega Primeiro Aço Livre de Combustíveis Fósseis Do Mundo.”
- Stegra. 2024. “Green Steel.” <https://stegra.com/about-us>.
- Selvaraju, Sangeeth Raja, and Sustainable Finance Analyst. 2024. “Financing a Just

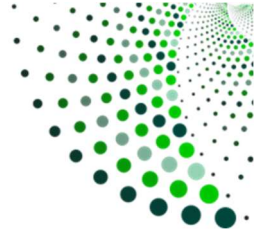


- Transition for the Steel Sector.” (June).
- Skoczkowski, Tadeusz et al. 2020. “Technology Innovation System Analysis of Decarbonisation Options in the EU Steel Industry.” *Energy* 212.
- Sovacool, Benjamin K., Mari Martiskainen, Andrew Hook, and Lucy Baker. 2019. “Decarbonization and Its Discontents: A Critical Energy Justice Perspective on Four Low-Carbon Transitions.” *Climatic Change* 155.
- Statista. 2023. “Worldwide Coal Demand Share by Sector.” <https://www.statista.com/statistics/1279674/worldwide-coal-demand-share-by-sector/>.
- Swennenhuis, Floris, Vincent de Gooyert, and Heleen de Coninck. 2022. “Towards a CO<sub>2</sub>-Neutral Steel Industry: Justice Aspects of CO<sub>2</sub> Capture and Storage, Biomass- and Green Hydrogen-Based Emission Reductions.” *Energy Research and Social Science* 88(March): 102598. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102598>.
- TATA. 2024. “A Vision Towards a Strong and Cleaner Future: Green Steel Plan.” <https://www.tatasteelnederland.com/en/sustainability/green-steel-plan>.
- THIAGO RONIÈRE REBOUÇAS TAVARES. 2022. 9 “SOFRIMENTO AMBIENTAL POR CONTAMINAÇÃO DO AR E DA ÁGUA NOS ARREDORES DA SIDERÚRGICA TERMIUM, ÀS MARGENS DA BAÍA DE SEPETIBA (RIO DE JANEIRO): UM ESTUDO SOBRE INJUSTIÇA AMBIENTAL.”
- Tai, Katherine. 2024. “Estados Unidos Planejam o Aumento de Tarifas de Importação Sobre Produtos Chineses.”: 1–2.
- Transition Asia. 2023. “TECHNOLOGY PATHWAYS IN THE STEEL INDUSTRY FOR NON ENGINEERS.” : 1–8.
- Transition Pathway Initiative. 2023. “Steel.” <https://www.transitionpathwayinitiative.org/sectors/steel>.
- UNDP – United Nations Development Programme. 2022. “What Is Just Transition? And Why Is It Important?” <https://climatepromise.undp.org/news-and-stories/what-just-transition-and-why-it-important> <https://climatepromise.undp.org/news-and-stories/what-just-transition-and-why-it-important>.
- UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. 2023. “Leaving No One Behind in the Transition Towards a Low-Carbon Economy.” <https://unfccc.int/news/leaving-no-one-behind-in-the-transition-towards-a-low-carbon-economy>.
- United Nations. 2023. “A Gender-Responsive Just Transition for People and Planet.” : 1–9.
- Vogl, V., Åhman, M., Nilsson, L. J., & Sandén, B. A. (2019). A just transition towards a coal-free steel industry (Report No. 2019/1). Mistra Carbon Exit. [https://etxtra.org/wp-content/uploads/2023/03/Vogl-et-al.-2019\\_A-just-transition-towards-a-coal-free-steel-industry.pdf](https://etxtra.org/wp-content/uploads/2023/03/Vogl-et-al.-2019_A-just-transition-towards-a-coal-free-steel-industry.pdf)
- Vogl, Valentin, Johan Rootzén, and Oscar Svensson. 2019. “A Just Transition towards a Coal-Free Steel Industry : Perspectives from Labour.” 14th Nordic Environmental Social Science conference (June): 11–12.
- van den Berg, Nicole J. et al. 2020. “Implications of Various Effort-Sharing Approaches



- for National Carbon Budgets and Emission Pathways.” *Climatic Change* 162(4): 1805–22.
- WBA – World Benchmarking Alliance. 2024. *Waking the Giants: Insights on the Decarbonisation and Just Transition Efforts of the Heavy Industries*.
- Wang, Xinxin, and Kevin Lo. 2021. “Just Transition: A Conceptual Review.” *Energy Research and Social Science* 82(August): 102291. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102291>.
- Watari, Takuma, and Benjamin McLellan. 2024. “Global Demand for Green Hydrogen-Based Steel: Insights from 28 Scenarios.” *International Journal of Hydrogen Energy* 79(May): 630–35. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.06.423>.
- World Economic Forum. 2023. “Net-Zero Industry Tracker 2023.” *Insight Report* (November).
- World Steel Association. 2011. “Water Management in the Steel Industry.”: 2011.
- . 2011. “Steel and Raw Materials.” 15(4): 710–39. [http://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/fact-sheets/Fact-sheet\\_Raw-materials2011/document/Fact-sheet\\_Raw-materials2011.pdf](http://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/fact-sheets/Fact-sheet_Raw-materials2011/document/Fact-sheet_Raw-materials2011.pdf).
- . 2013. “Energy Use in the Steel Industry.” *Worldsteel Association Fact Sheet (Lci)*: 1–3.
- World Steel Association. 2020. “Climate – How the Steel Industry Is Coping with Water Scarcity.” <https://worldsteel.org/media/blog/2020/climate-steel-industry-water-scarcity/>.
- World Steel Association. 2021. “Biomass in Steelmaking.”
- World Steel Association. (2022). Fact sheet: Hydrogen (H<sub>2</sub>) based ironmaking. <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/Fact-sheet-Hydrogen-H2-based-ironmaking>
- . 2023b. “Steelie Awards Winners 2022.”
- . 2023c. *Worldsteel Sustainability Charter Member*. <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/Charter-Member-criteria.pdf>.
- . 2024a. “December 2023 Crude Steel Production and 2023 Global Crude Steel Production Totals.” <https://worldsteel.org/media/press-releases/2024/december-2023-crude-steel-production-and-2023-global-totals/>.
- . 2024b. *2003 World Steel in Figures*. <http://www.worldsteel.org/wsif.php>.
- Ziolo, Magdalena et al. 2019. “Finance, Sustainability and Negative Externalities. An Overview of the European Context.” *Sustainability (Switzerland)* 11(15).





## 8. Anexo

*Tabela 10: Projetos ativos de tecnologias para produção de aço de baixa emissão*

País	Nome do projeto	Empresa	Tecnologia	Empresa possui metas climáticas?	Status	Ano de operação
Germany	Hamburg H2	ArcelorMittal	H-DRI	Yes	Announced	2026
Australia	Whyalla Transformation Program	Liberty Steel Group	NG-DRI to H-DRI	Yes	Announced	2024
Germany	tkH2Steel	Thyssenkrupp	NG-DRI to H-DRI	Yes	Construction	2027
China	Paradigm project	HBIS Group	NG-DRI to H-DRI	Yes	Operating	2021
Sweden	Oxelösund mini-mill	SSAB	BF-BOF to EAF for green iron	Yes	Announced	2028
Sweden	H2 Green Steel (H2GS) Boden	H2 Green Steel	H-DRI	Not applicable for emerging	Construction	2025
France	H-DRI Dunkirk	ArcelorMittal	NG-DRI to H-DRI	Yes	Construction	2027
Sweden	HYBRIT	SSAB	H-DRI	Yes	Construction	2026
Brazil	AVB charcoal integrated mill	Aço Verde do Brazil (AVB)	Biomass for BF	Yes	Operating	2018
Spain	Gijón DRI and EAF	ArcelorMittal	NG-DRI to H-DRI	Yes	Announced	2025
Spain	Sestao DRI	ArcelorMittal	BF-BOF to EAF for green iron	Yes	Announced	2025
Canada	ArcelorMittal Dofasco DRI	ArcelorMittal	NG-DRI to H-DRI	Yes	Announced	2028
Netherlands	Heracleus (Hydrogen-Era-Carbon-Less)	Tata Steel	H-DRI	Yes	Announced	2030
Belgium	ArcelorMittal Belgium DRI	ArcelorMittal	NG-DRI to H-DRI	Yes	Announced	2030
Chile	H2V CAP	Compania Siderurgica Huachipato SA	H2 production	No	Announced	2025
South Korea	HyREX	POSCO Holdings	H-DRI	Yes	Announced	2033
Germany	SALCOS	Salzgitter Group	H-DRI	Yes	Announced	2033
Finland	The Blastr Green Steel Project	Blastr Green Steel	H-DRI	Not applicable for emerging	Announced	2027
Spain	Hydnum Steel	Hydnum Steel	H-DRI	Not applicable for emerging	Announced	2026
Austria	Greentec steel - Linz	voestalpine Group	BF-BOF to EAF for green iron	Yes	Construction	2027
Austria	Greentec steel - Donawitz	voestalpine Group	BF-BOF to EAF for green iron	Yes	Construction	2027
Thailand	Meranti green steel	Meranti Steel	NG-DRI to H-DRI	No	Announced	2027
Oman	Sohar CCS - Jindal Shadeed	Jindal Steel and Power Ltd (JSPL)	CCU for BF-BOF	No	Announced	2027
China	HBIS Naiman	HBIS Group	H-DRI	Yes	Construction	2025
Mexico	Ternium Nuevo Leon DRI	Techint Group	NG-DRI to H-DRI	No	Announced	2026
Oman	Vulcan Green Steel	Jindal Steel and Power Ltd (JSPL)	H-DRI	No	Construction	2026
Germany	Pure Steel+	Stahl Holding Saar GmbH	H-DRI	No	Announced	2045

Fonte: Green Steel Tracker, 2023



