

## OPINIÃO

## O potencial do hidrogênio verde para descarbonização da siderurgia e as oportunidades para o Brasil no futuro mercado de *green steel*<sup>1</sup>

*Autores: Autores: Vinicius Botelho e Luiz Roberto Bezerra*

Este artigo expressa as opiniões dos autores, não apresentando necessariamente a opinião institucional da FGV.

A transição energética global visa reduzir a dependência das matrizes energéticas baseadas em combustíveis fósseis, impulsionando a adoção de fontes de energia mais limpas e sustentáveis. Embora a eletrificação seja uma estratégia viável em muitos setores, há aqueles conhecidos como "*hard-to-abate*", nos quais a descarbonização é desafiadora. Nesses, o uso de outras rotas tecnológicas limpas, como a do **hidrogênio de baixo carbono**, emerge como essencial para o cumprimento das metas climáticas estabelecidas no Acordo de Paris.

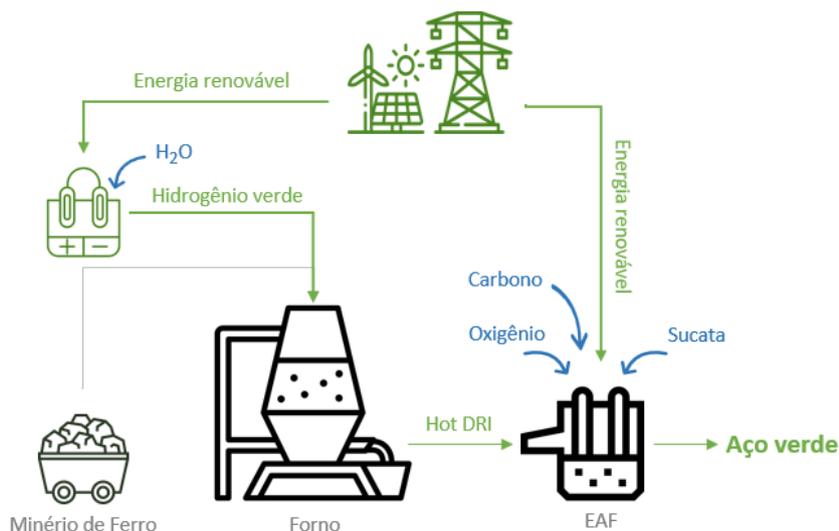
O setor industrial é reconhecidamente difícil de se descarbonizar e, atualmente, responde por uma parcela significativa das emissões globais do setor energético. Em 2022, a indústria foi responsável por 25% das emissões de CO<sub>2</sub> do setor energético, tendo emitido 9,2 Gton. Olhando apenas o segmento da siderurgia, que contribuiu com aproximadamente 8% das emissões de CO<sub>2</sub>, compreende-se que este é então um setor-chave na busca pela descarbonização e pelo alcance das metas climáticas globais (IEA, 2023a).

Promover a transição energética nas indústrias siderúrgicas não é trivial, mas há diferentes caminhos. O mais promissor deles, capaz de contribuir com mais de 95% de redução de emissões, é utilizar o hidrogênio produzido a partir da eletrólise, suprido com energia renovável, também chamado de hidrogênio verde, combinado com suprimento de energia renovável na produção do aço pela rota de redução direta do ferro associada a um forno de arco elétrico (do inglês, *H2-Direct Reduced Iron – Electric Arc Furnace*), como mostra a Figura 1.

---

<sup>1</sup> Aço verde

Figura 1 – Processo de Produção do Aço Verde (H2 DRI-EAF).



Fonte: Elaboração própria com base em IRENA (2022).

A siderurgia é uma indústria intensiva em capital, energia e emissões, e apresenta forte dependência dos preços das matérias-primas para ser competitiva a nível global. Em decorrência disso e considerando que no curto prazo o hidrogênio verde ainda possui custos elevados, estimativas indicam maior nível de competitividade após 2030, tendo em vista que existem desafios econômicos a serem vencidos. Em contrapartida, a criação de mecanismos que melhorem a competitividade e a percepção de valor de produtos como o aço verde são essenciais.

O Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira (CBAM, do inglês *Carbon Border Adjustment Mechanism*), aprovado pela União Europeia em abril de 2023, é um instrumento de taxação de carbono aduaneiro para produtos exportados para a União Europeia (UE), dentre os quais destacam-se aqueles da indústria de ferro e aço (IEA, 2023b). A depender da participação atual no mercado mundial de aço e da abundância de recursos energéticos renováveis, mecanismos como o CBAM podem ser vistos como uma barreira ou como uma oportunidade.

As análises de custo-benefício para promover a transição das indústrias estarão ligadas intrinsecamente à análise de risco de maior ou menor participação no mercado mundial no horizonte de médio e longo prazo. Em relação aos custos, de acordo com WoodMackenzie (2022), a viabilidade comercial do aço verde, em comparação com as rotas convencionais de produção, dependerá do fornecimento de hidrogênio verde competitivo, a um custo de cerca de 2 US\$/kg. Isso pode representar um acréscimo de

cerca de 100 US\$/ton, aproximadamente 15-20% do custo total de produção. No que tange aos benefícios associados a esses investimentos, o aço verde oferece uma redução substancial das emissões e abre portas para uma participação mais forte no mercado futuro de baixo carbono, beneficiando tanto o meio ambiente quanto as perspectivas econômicas.

Atualmente, em relação a produção de aço bruto, o Brasil ocupa o 1º lugar na América Latina e o 9º no mundo. Além disso, é um exportador líquido de aço e tem como principal mercado a União Europeia (Instituto Aço Brasil, 2022). Ou seja, tendo uma reconhecida capacidade de produção de hidrogênio verde de forma competitiva, o CBAM apresenta-se, no médio e longo prazo, como uma oportunidade para o Brasil se posicionar estrategicamente no mercado de aço verde e, não só se manter no mercado mundial, como também expandir sua participação, que hoje está na ordem 2%.

Diante dessa perspectiva de maior participação no mercado, também é possível indicar que uma nova fronteira de expansão surge para o setor de mineração. O Brasil é o segundo maior produtor de minério de ferro do mundo, com mais de 80% da produção destinada para exportação, como uma commodity (IBRAM, 2023; ANM, 2023). Contudo, diante da perspectiva de maior participação do Brasil no mercado siderúrgico de baixo carbono, observa-se uma oportunidade de ampliação do consumo interno de minério de ferro, capaz de aumentar o valor agregado do produto, implicando em reflexo direto e positivo na balança comercial.

Em resumo, é fundamental investir em projetos que adotem o hidrogênio verde na produção de aço, especialmente naqueles que busquem avaliar oportunidades de ganhos de eficiência em todo o processo. Iniciativas piloto e demonstrativas já estão em operação em todo o mundo, e o Brasil deve seguir essa tendência. Tecnologias como a DRI-EAF, seja completamente com hidrogênio verde ou em mistura com o gás natural, representam caminhos promissores para a produção de aço verde no país.

Neste sentido, com o fortalecimento da economia de hidrogênio promovido por meio do Plano Trienal do PNH2, da Chamada Estratégica de P&D da ANEEL e do marco legal que está em elaboração pelo Ministério de Minas e Energia (MME), o Brasil pode se tornar um líder na produção de aço verde e contribuir de forma significativa para a redução das emissões globais de carbono.

## REFERÊNCIAS

ANM, Agência Nacional de Mineração. **Anuário Mineral Brasileiro: principais substâncias metálicas**. 2023.

IBRAM, Instituto Brasileiro de Mineração. **Panorama Mineração do Brasil**. 2023.

IEA, International Energy Agency. **Emissions Measurement and Data Collection for a Net Zero Steel Industry**. 2023a.

IEA, International Energy Agency. **The Breakthrough Agenda Report 2023**. 2023b.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **A Siderurgia em Números**. 2022.

IRENA, International Renewable Energy Agency. **Green hydrogen for Industry: A guide to policy making**. Abu Dhabi, 2022.

WOOD MACKENZIE. **HORIZONS - Pedal to the metal: Iron and steel's US\$1.4 trillion shot at decarbonisation**. 2022.

## AUTORES



**Vinicius Botelho** é engenheiro eletricitista formado pela UFTM, mestrando em Sistemas de Energia Elétrica no Programa de Engenharia Elétrica da COPPE/UFRJ e Pesquisador da FGV Energia. Tem experiência em assuntos do setor elétrico, com ênfase em energias renováveis, armazenamento de energia, planejamento energético e economia do hidrogênio. Atuou por 3 anos como pesquisador do Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL) onde desenvolveu pesquisas nas temáticas de armazenamento de energia, sistemas isolados e hidrogênio verde, atuando em projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e de consultoria.



**Luiz Roberto Bezerra** é Mestre em Engenharia Elétrica pela COPPE/UFRJ. Pós-Graduado pela Universidade Cândido Mendes (MBA em Gestão Empresarial) e pelo IBMEC/RJ (MBA Executivo em Finanças). Possui graduação em Engenharia Elétrica pela PUC/RJ. Assessor do Diretor da FGV Energia e Coordenador de Pesquisa do Setor Elétrico da FGV Energia desde fevereiro de 2014. Membro titular do Corpo de Árbitros na Câmara FGV de Conciliação e Arbitragem (desde 2018). Coordenador de projetos de pesquisa aplicada (P&D), com foco em energias renováveis complementares, recursos energéticos distribuídos, smart grid, eficiência energética, sustentabilidade, arranjos produtivos locais, economia circular e economia compartilhada.

MANTENEDORES FGV ENERGIA

OURO



PRATA

