



Recebido em: 17/06/2024.

Aceito em: 03/08/2024.

Revista SODEBRAS – Volume 19
Nº 222 – SETEMBRO/ DEZEMBRO - 2024

DESCARBONIZAÇÃO DO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL ATRAVÉS DO USO DO HIDROGÊNIO VERDE NA PRODUÇÃO DO AÇO.

DECARBONIZATION OF THE CIVIL CONSTRUCTION SECTOR THROUGH THE USE OF GREEN HYDROGEN IN STEEL PRODUCTION.

José Renato de Oliveira Lima¹
Marcia Delane Silva²
Mayrla Fernandes Farias Medeiro³
Ricardson Vieira Dos Santos⁴

Resumo – A indústria da construção civil é uma das principais responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa, agravando o aquecimento global. Portanto, é crucial realizar a descarbonização desse setor para alcançar as metas globais de redução dessas emissões. Neste trabalho, estudaremos a descarbonização da construção civil através do uso do hidrogênio verde na produção de aço, um dos materiais mais utilizados nesse setor e responsável por uma grande parte da emissão de dióxido de carbono.

Palavras-chave: Hidrogênio Verde. Aço. Construção. Energia

Abstract - The construction industry is one of the main responsible for the emission of greenhouse gases, worsening global warming. Therefore, it is crucial to decarbonize this sector to achieve global targets for reducing these emissions. In this work, we will study the decarbonization of civil construction through the use of green hydrogen in the production of steel, one of the most used materials in this sector and responsible for a large part of carbon dioxide emissions.

Keywords: Green Hydrogen. Steel. Construcion. Energy.

¹Doutorado em Química pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Universidade Federal do Maranhão. renato.jose@ufma.br

²Mestranda em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal do Maranhão. marcia.delane@discente.ufma.br

³Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Maranhão. mayrla.ffm@discente.ufma.br

⁴Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Maranhão. ricardson.vieira@discente.ufma.br

I. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é uma parte fundamental da economia de um país. Ele engloba todas as atividades relacionadas à construção, reforma, manutenção e infraestrutura de edificações, sejam elas residenciais, comerciais, industriais ou de uso público. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, a indústria da construção civil é uma das que têm maior crescimento na participação do Produto Interno Bruto - PIB nacional. Porém, ao mesmo tempo em que esse é um dos setores que mais cresce no Brasil, é também um dos que mais degrada o meio ambiente. Um estudo de emissões de gases na construção de um edifício no sul do Brasil obteve um total de 82,56 kg de CO₂ por metro quadrado emitidos da fase de preparação do terreno até a fase final de execução da obra (MARCIEL *et al*, 2018). Cerca de 47,6% de todo o CO₂ gerado pelo consumo de energia elétrica no país é gerado para o uso das edificações. O Diário Oficial da União (2023) tornou público o Decreto Nº 11.547, de 5 de Junho de 2023, que instituiu o Comitê Técnico da Indústria de Baixo Carbono, que visa implementar, monitorar e revisar políticas públicas, iniciativas e projetos que incluam a economia de baixo carbono no setor industrial brasileiro. Isso evidencia a preocupação dos órgãos públicos nacionais com a emissão de gases de efeito estufa no país. Esse interesse crescente na descarbonização está aumentando o interesse no hidrogênio verde, para CASTRO *et al* (2023): "Dessa vez, é o impulso para descarbonizar que está impulsionando o interesse no hidrogênio. 'Todos estão pensando muito seriamente sobre a descarbonização profunda', diz o líder do grupo de modelagem de sistemas de energia no Instituto de Tecnologia Karlsruhe da Alemanha. Cidades, estados e nações estão traçando caminhos para alcançar a meta de emissões de carbono quase nulas até 2050".

II. METODOLOGIA

Este estudo utiliza uma abordagem bibliográfica para analisar a viabilidade e os impactos da utilização de hidrogênio verde na produção do aço como uma estratégia para a descarbonização do setor da construção civil. A estratégia de busca consiste em pesquisar e analisar estudos científicos, relatórios técnicos e publicações acadêmicas relacionados à descarbonização da construção civil e ao uso de hidrogênio verde na produção do aço. A busca será realizada em bases de dados acadêmicas, como Scopus, Web of Science e IEEE Xplore, utilizando palavras-chave relevantes para o tema. Serão considerados estudos publicados nos últimos anos, garantindo a atualidade das informações. Os materiais selecionados serão organizados em um banco de dados. Serão analisados e sintetizados de acordo com os objetivos do estudo, identificando as principais descobertas e conclusões, assim como as tendências, desafios e oportunidades relacionados à utilização de hidrogênio verde na produção do aço para a descarbonização da construção civil.

III. RESULTADOS

3.1. Aço na construção civil

O aço é amplamente utilizado na construção civil por suas propriedades mecânicas e durabilidade. Internacionalmente, essa técnica é usada há cerca de 200

anos, mas no Brasil sua adoção começou no final do século XIX e início do século XX. Inicialmente, o aço era usado principalmente no setor industrial, mas com a criação de novas fábricas nacionais, seu uso se expandiu para outros tipos de edificações, incluindo edifícios residenciais (ANDRADE *et al*, 2015). O uso do aço na construção civil oferece várias vantagens, como resistência, durabilidade, flexibilidade de projeto e rapidez na construção. Competindo com o concreto armado, o aço tem se destacado como a primeira opção, especialmente em grandes obras. Estruturas metálicas pré-moldadas são cada vez mais utilizadas, facilitando a instalação no canteiro de obras. A resistência e durabilidade do aço permitem a construção de estruturas robustas e confiáveis, enquanto sua flexibilidade de projeto possibilita a criação de formas arquitetônicas interessantes e eficientes. Além disso, o uso de estruturas de aço pode reduzir o tempo de construção e resultar em economia de custos (PINHO, 2017). No entanto, a produção de aço é um processo intensivo em emissões de gases de efeito estufa, o que contribui significativamente para o aquecimento global e as mudanças climáticas. Durante o processo siderúrgico, são liberados grandes volumes de dióxido de carbono (CO₂), um dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa. Portanto, o setor siderúrgico precisa urgentemente adotar medidas para reduzir suas emissões de carbono. Projeções indicam que a demanda por aço aumentará para mais de 2,5 bilhões de toneladas por ano até 2050, com o maior crescimento ocorrendo nas economias emergentes (IBRAM, 2022). Outro fator que contribui para as emissões de gases de efeito estufa na produção do aço é o consumo de energia. A energia necessária para aquecer os fornos, operar as máquinas e realizar os processos de transformação do minério em aço é geralmente proveniente de fontes não renováveis, como o carvão e o gás natural, que também emitem CO₂ quando são queimados. A fabricação de 1kg de aço em forno de arco elétrico resulta em aproximadamente 462 gramas de CO₂ equivalente, enquanto a produção de 1kg de aço em alto forno gera cerca de 2494 gramas de CO₂ equivalente (GERVÁSIO, 2008).

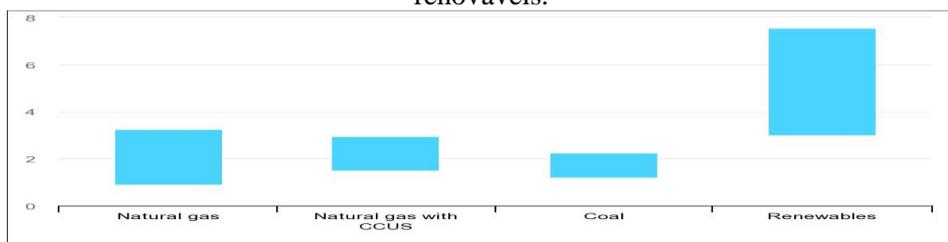
3.2. Hidrogênio verde

O acordo de Paris de 2015 representa um marco importante no interesse em descarbonizar o planeta, pois foi um documento assinado por 195 países, onde foi estabelecida a meta de limitar a temperatura global abaixo de 2 °C, preferencialmente em 1,5 °C até o fim do século, e neste mesmo acordo o governo brasileiro firmou o compromisso de diminuir em 37% no ano de 2025 as emissões de GEE, com contribuição subsequente de 43% de redução em 2030, isso com relação aos níveis estimados para o ano de 2005 (ONU, 2015). O hidrogênio vem sendo largamente apontado como a principal opção para a diminuir as emissões de GEE (gases de efeito estufa) em todo o mundo, pois sua produção emite uma quantidade muito menor se comparado aos combustíveis fósseis, visto que a aplicação em larga escala de combustíveis fósseis resulta em significativos impactos ambientais, como emissão de GEE, especialmente do dióxido de carbono (CO₂), e o aumento da poluição urbana, o que faz com que as entidades públicas e governamentais busquem por novas fontes de energias renováveis (CASTRO *et al*, 2023). Isso não é uma ideia nova, pois já em 1923, J.B.S Haldane fez uma palestra na universidade de Cambridge na qual defendeu o potencial do hidrogênio como combustível do futuro (HALDANE, 1923). O hidrogênio não é encontrado na natureza na sua forma pura, por isso, para a obtenção desse gás é necessário que sejam feitos alguns processos. Atualmente o gás natural é a principal

fonte de energia utilizada na produção do hidrogênio, ele corresponde a cerca de três quartos do produto global anual de hidrogênio (IEA, 2019).

Diante disso, a utilização do hidrogênio verde como fonte de energia nos setores industriais vem sendo defendida por órgãos competentes como a IRENA (Agência Nacional de Energias Renováveis) que defende que o hidrogênio verde está sendo reconhecido como um vetor chave para o alcance da neutralidade de carbono até 2050, ele desempenhará um papel importante na descarbonização de setores difíceis de descarbonizar, como a indústria. Isso porque sua produção não gera emissão de GEE, visto que é produzido por um processo chamado eletrólise, que consiste na separação do hidrogênio e do oxigênio da molécula da água por um fluxo de corrente contínua com a utilização de eletrodos que ficam imersos em uma solução aquosa alcalina em temperatura ambiente (CASTRO *et al*, 2023). Vale ressaltar que o hidrogênio só é considerado verde se produzido com o uso de fontes de energia renováveis. Ademais, ainda há desafios para a utilização do hidrogênio verde como combustível, pois sua produção ainda é relativamente cara, se comparada às outras formas de obtenção do hidrogênio, para viabilizar essa transição energética é necessário que sejam feitos avanços nas tecnologias de produção, transporte e armazenamento do H₂V (BEZERRA, 2021). A diferença do preço do hidrogênio feito com o uso de combustíveis fósseis para o preço do hidrogênio de baixo carbono ainda é uma barreira que precisa ser superada com o estímulo de políticas públicas (IEA, 2019). O custo do hidrogênio cinza varia de US\$ 0,5/Kg a US\$ 1,7/Kg, dependendo do preço do gás natural da região que ele é produzido, o hidrogênio azul tem preço que varia entre US\$ 1/Kg e US\$ 2/Kg. Como o H₂V é produzido com o uso de energias renováveis, o seu custo é mais alto variando de US\$ 3/kg a US\$ 8/Kg, esta informação pode ser observada na figura 1:

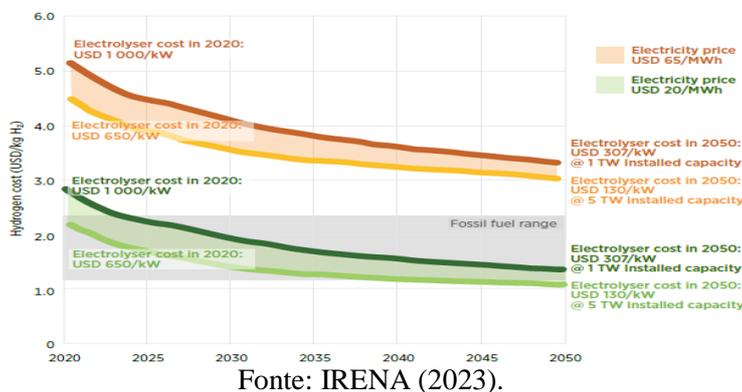
Figura 1: Gráfico de preços dos hidrogênios produzidos com gás natural e com energias renováveis.



Fonte: IEA (2019).

As estatísticas para o hidrogênio verde é que o preço da produção do mesmo caia até o ano de 2050, por conta das reduções de custo dos eletrolisadores e da eletricidade, essa informação pode ser conferida na figura 2:

Figura 2: Produção de hidrogênio verde em função da implantação do eletrolisador, custo instalado e preço da eletricidade, constantes ao longo do período 2020-2050



IV. DISCUSSÃO

O hidrogênio verde está ganhando atenção como uma alternativa promissora para a produção de aço. Atualmente, o método mais comum utiliza altos-fornos, onde o carvão metalúrgico reage com o minério de ferro para reduzir e remover o oxigênio do minério de ferro. A utilização do hidrogênio verde visa tornar este processo mais ambientalmente consciente e sustentável (Hydrogen Europe, 2020; STIFTUNG, 2021). A abordagem atual de produção de aço com altos-fornos resulta em emissões significativas de CO₂, contribuindo para as mudanças climáticas. O hidrogênio verde é proposto como substituto do carvão metalúrgico no processo siderúrgico, sendo produzido por eletrólise da água usando energia renovável, como solar ou eólica. A energia solar, em particular, é uma fonte inesgotável, de alta confiabilidade, baixo custo de manutenção e considerada descentralizada, eliminando a necessidade de distribuição por fios (SINGH, 2013). Durante a eletrólise, a água é separada em oxigênio e hidrogênio, com o hidrogênio utilizado como combustível limpo na produção de aço. Os processos de redução direta de CO₂, que usam exclusivamente hidrogênio eletrolítico para produzir ferro e aço, estão entre as tecnologias mais avançadas para uma produção de aço com quase zero emissões de carbono. (IEA, 2022). Segundo IEA (2022): "O projeto Hybrit produziu aço livre de combustíveis fósseis pela primeira vez em novembro de 2021, com testes-piloto em andamento até 2024 e produção em escala industrial prevista para 2026. Após esse marco, surgiram vários novos projetos e financiamentos, como o SALCOS na Alemanha, a Planta Liberty Steel DRI na França, Iberdrola-H2 Green Steel na Península Ibérica e o Green Steel-H2V CAP no Chile IEA (2022). A indústria do aço é responsável por 8% das emissões globais de CO₂, tornando urgente a descarbonização desse setor, o que pode se transformar em uma oportunidade econômica. O aço, um dos materiais mais utilizados no mundo, tem 71% de sua produção dependente de combustíveis fósseis, resultando em elevadas emissões de CO₂. Em 2020, a indústria siderúrgica mundial emitiu 3,0 Gt CO₂, enquanto no Brasil as emissões chegaram a 107 milhões de toneladas. A produção de aço verde utiliza hidrogênio verde, que é livre de carbono, para a redução do minério de ferro, emitindo apenas vapor de água. Essa mudança é viável e reduzirá significativamente as emissões de CO₂. No entanto, a produção de aço com hidrogênio verde é um grande desafio, exigindo uma revolução na indústria siderúrgica. Um relatório da consultoria Wood Mackenzie aponta a necessidade de 52 milhões de toneladas de H₂ verde anualmente até 2050. O Brasil, entre os 10 maiores produtores de aço do mundo, está ativo nesse diálogo de sustentabilidade. O Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) apresentou ao governo federal os principais desafios para a produção de aço com hidrogênio verde,

focando em três eixos estratégicos: substituição de combustíveis de alto carbono por renováveis, otimização de ativos de mineração, e uso de novas tecnologias na mineração. A produção de aço verde requer que o hidrogênio verde custe USD 2,0/kg para manter o aço verde a um custo de USD 100/tonelada. O principal desafio não é a produção do hidrogênio verde em si, mas a criação de uma estrutura de custos e segurança jurídica que viabilize a transição para uma economia de baixo carbono.

IV. CONCLUSÃO

A produção de aço sustentável é um desafio crucial para a indústria siderúrgica, visando reduzir as emissões de gases de efeito estufa e mitigar os impactos ambientais. Nesse contexto, o uso do hidrogênio verde e da eletrólise com energia renovável surgem como alternativas promissoras. A substituição do carvão metalúrgico pelo hidrogênio verde como agente redutor no processo siderúrgico possibilita a redução significativa das emissões de CO₂, contribuindo para a descarbonização do setor. Além disso, a eletrólise de óxido fundido, uma tecnologia em desenvolvimento, permite a separação do oxigênio do minério de ferro sem a necessidade do carvão de coque. No entanto, a implementação em larga escala dessas tecnologias ainda enfrenta desafios técnicos, econômicos e de infraestrutura. É necessária uma pesquisa contínua, investimentos significativos e colaboração entre empresas, instituições acadêmicas e governos para superar esses obstáculos e viabilizar a produção de aço sustentável. O interesse crescente na descarbonização e a preocupação com as emissões de gases de efeito estufa levaram à implementação de políticas públicas e projetos que visam promover a economia de baixo carbono no setor industrial. Contudo, a adoção de uma metodologia que englobe todas as etapas, desde a avaliação de viabilidade até a implementação em escala industrial, é fundamental. Isso envolve o desenvolvimento de infraestrutura para produção e armazenamento de hidrogênio verde, adaptação dos processos siderúrgicos existentes, integração da eletrólise com energia renovável e contínuo monitoramento dos resultados. A produção de aço sustentável não apenas contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, mas também promove a preservação dos recursos naturais, a melhoria da qualidade do ar e a criação de um setor siderúrgico mais resiliente e competitivo. Essa transição é essencial para enfrentar os desafios globais das mudanças climáticas e construir um futuro mais sustentável.

V. REFERÊNCIAS

BEZERRA, F. **Hidrogênio verde: nasce um gigante no setor de energia.** Caderno Setorial ETENE, ano 6, n. 212, p. 1-13, 6 dez. 2021. Disponível em: https://bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1109/1/2021_CDS_212.pdf. Acesso em: 15 jun. 2023.

BNAMERICAS. **Chile's CAP bets on green hydrogen to produce sustainable steel.** News bnamericas, 1 set. 2022. Disponível em: <https://www.bnamericas.com/en/news/chiles-cap-bets-on-green-hydrogen-to-produce-sustainable-steel>. Acesso em: 18 jun. 2023.

BRASIL MINERAL (Brasil). **Iniciativa para aço sem carbono na Alemanha.** 7 jun. 2022. Disponível em: <https://www.brasilmineral.com.br/noticias/iniciativa-para-aco-sem-carbono-na-alemanha>. Acesso em: 18 jun. 2023.

CASTRO, N. *et al.* **A economia do hidrogênio: Transição, descarbonização e oportunidades para o Brasil.** E-papers Serviços Editoriais. 2023.

CORTEZ, L. A. DA R. *et al.* **Uso das estruturas de aço no Brasil.** Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS, v. 4, n. 2, p. (1–217), 2017.

DAVIS INDEX (Canadá). **Liberty to set up hydrogen steel plant in France.** 2022. Disponível em: <https://www.davisindex.com/liberty-to-set-up-hydrogen-steel-plant-in-france/>. Acesso em: 18 jun. 2023.

HALDANE, J. B. S. **Daedalus or Science and the Future: A paper read to the herftics, Cambridge on February 4th, 1923.** M. F. Robinson & Co, Ltd, at the Library Press Lowestoft. 1923.

IBERDROLA (Brasil). **Iberdrola e H2 Green Steel assinam acordo de 2.3 bilhões de euros de hidrogênio verde.** 1 dez. 2021. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sala-comunicacao/noticia/detalhe/acordo-hidrogenio-verde-iberdrola-h2-green-steel>. Acesso em: 18 jun. 2023.

IRENA, International Renewable Energy Agency. **Low-cost Finance for the Energy Transition.** 2023. Disponível em: <https://www.irena.org/Publications/2023/May/Low-cost-finance-for-the-energy-transition>. Acesso em: 16, jun. 2023.

IEA. **Iron and Steel.** 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/iron-and-steel>. Acesso em: 17 jun. 2023.

IBRAM (Brasil). **Em 2050, consumo mundial de aço será em 3 bilhões de toneladas ao ano.** 28 jun. 2022. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/em-2050-consumo-mundial-de-aco-sera-em-3-bilhoes-de-toneladas-ao-ano/>. Acesso em: 14 jun. 2023.

LI, Y., WU, F., AND MIAO, H. (2019). **Analysis of research status and development trend of hydrogen storage technology.** ACM Int. Conf. Proceeding Ser., 228–233. doi:10.1145/3325917.3325955.

MAROIS, J. *et al.* **Clean Energy Technology Innovation.** Iea.org, 1 set. 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/clean-energy-technology-innovation>. Acesso em: 17 jun. 2023.

MACIEL, M. A. D. **Emissões de gases de efeito estufa na construção civil.** Revista Vale, Universidade Federal do Vale do Rio Verde. Vol 16, N°1, p. (1 a 11), Julho de 2018. Disponível em: <http://periodicos.unincor.br/index.php/revistaunincor/article/view/3755>. Acesso em: 09, jun. 2023.

MELO, N. **O uso do aço na construção civil: Estruturas Metálicas em Edifícios Residenciais.** p. (1-31), 2019.

ONU. **Acordo de Paris sobre o Clima**. Portal das Nações Unidas Brasil, 11 dez. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/88191-acordo-de-paris-sobre-o-clima>. Acesso em: 17 jun. 2023.

PAIVA, S. S. M. **Produção de hidrogênio verde ambientalmente sustentável**. Elisama Vieira dos Santos. p. (112). Dissertação de Mestrado, UFRN, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Linha de Pesquisa: Engenharia Ambiental, Natal – RN, Brasil, Fevereiro de 2022.

PORTAL DO GOVERNO FEDERAL (Brasil). Ministério do desenvolvimento, indústria, comércio e serviços. **Metalurgia e Siderurgia: O Setor Metalúrgico Brasileiro**. 28 jan. 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/assuntos/mdic/comercio-exterior/metarlungia-e-siderurgia>. Acesso em: 17 jun. 2023.

PRESIDENTE DA REPÚBLICA. Governo Federal. **Decreto nº 11.547, de 5 de junho de 2023**. Diário oficial da união, n. 107, p. 10-10, 6 jun. 2023. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-11.547-de-5-de-junho-de-2023-488175801>. Acesso em: 14 jun. 2023.

PINHO, F. O. **Quando Construir em Aço?** Revista Engenharia, 2007. POMPERMAYER, Rafael. **Análise Comparativa Entre Estruturas Metálicas e Estruturas de Concreto Armado**, 2017.

SANTOS, V., OHARA A. **Desafios e oportunidades para o Brasil com hidrogênio verde**. Rio de Janeiro: Heinrich Boll Stiftung, maio 2021.

SEV – Secretaria de Economia Verde, Descarbonização e Bioindústria. Gov.br, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/composicao/secretarias/secretaria-de-economia-verde-descarbonizacao-e-bioindustria-sev#:~:text=Institu%C3%ADdo%20pelo%20DECRETO%20N%C2%BA%2011.547>. Acesso em: 17, jun. 2023.

SINGH, G. K. **Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: A review**, ScienceDirect, 53, p. (1-13), 1 maio 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544213001758?via%3Dihub>.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores José Renato de Oliveira Lima, Marcia Delane Silva, Mayrla Fernandes Farias Medeiro e Ricardson Vieira Dos Santos, são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.