



TRANSPORTE DO HIDROGÊNIO VERDE NO BRASIL

Luis Fernando de Jesus Lobato ¹

Resumo: A meta global de descarbonização até 2050 impulsiona a necessidade de produzir hidrogênio verde, fundamental para reduzir as emissões de CO₂. A crise energética global ressaltou a importância de fontes alternativas de energia. O hidrogênio verde, produzido pela eletrólise com energia renovável, promete um futuro sustentável, mas enfrenta desafios como custos elevados e questões de segurança. O transporte seguro e econômico do hidrogênio verde é crucial, sendo que o Brasil começa a considerar essa indústria, inspirado por iniciativas internacionais. A criação de políticas estaduais, como a Lei N^o 18.459 no Ceará, e o estudo sobre a capacidade de transporte de hidrogênio verde no Brasil destacam a importância desse combustível para a transição energética.

Palavras-Chaves: Energia; Hidrogênio Verde; Transporte.

Abstract: The global goal of decarbonization by 2050 drives the need to produce green hydrogen, which is essential for reducing CO₂ emissions. The global energy crisis has highlighted the importance of alternative energy sources. Green hydrogen, produced by electrolysis with renewable energy, promises a sustainable future, but faces challenges such as high costs and safety concerns. The safe and economical transportation of green hydrogen is crucial, and Brazil is beginning to consider this industry, inspired by international initiatives. The creation of state policies, such as Law No. 18,459 in Ceará, and the study on the transport capacity of green hydrogen in Brazil highlight the importance of this fuel for the energy transition.

Keywords: Energy; Green Hydrogen; Transport.

¹ Centro Universitário Fanor Wyden, Mestre em Engenharia Aeronáutica e Mecânica, luis.lobato@professores.unifanor.edu.br





1. INTRODUÇÃO

A meta de descarbonizar o planeta até 2050 é um objetivo global compartilhado por países de todo o mundo. Para alcançar esse objetivo ambicioso, é fundamental descarbonizar a produção de elementos-chave, como o hidrogênio, criando assim o chamado ‘hidrogênio verde’. Atualmente, o hidrogênio é responsável por mais de 2% do total das emissões globais de CO₂. Portanto, é crucial compreender como esse processo de descarbonização é alcançado e avaliar o impacto que terá nas próximas décadas.

Nos dias atuais, o nosso estilo de vida requer uma quantidade crescente de watts para funcionar adequadamente. Entretanto, a recente crise energética global causada pela guerra na Ucrânia, e a consequente escassez de combustíveis fósseis, geraram impactos significativos. A escassez de combustíveis fósseis resultou em um aumento sem precedentes nos preços do gás natural e do carvão, forçando a Europa a aumentar suas importações de gás natural liquefeito, o que agravou ainda mais a preocupante questão das mudanças climáticas.

Por outro lado, a visão de um mundo descarbonizado até 2050 sugere um cenário radicalmente distinto. Dessa maneira, este novo mundo será caracterizado por sua acessibilidade, eficiência e sustentabilidade aprimoradas, impulsionado por fontes de energia limpa, como o hidrogênio verde. Assim, este é o caminho que visa a mitigar as mudanças climáticas e promover um futuro mais promissor e equilibrado para as próximas gerações.

Dentre as diversas rotas para produção de hidrogênio renovável ou de baixo carbono, a do hidrogênio verde se apresenta como a mais explorada no momento. O hidrogênio verde é obtido por meio de um processo químico conhecido como eletrólise, em que se utiliza a corrente elétrica de fonte renovável para separar o hidrogênio do oxigênio que existe na água. Esta fonte de energia tem relevantes aspectos positivos, tais como o fato de ser de baixa intensidade de carbono, ser armazenável e ser versátil. A versatilidade do hidrogênio está relacionada ao fato de o mesmo poder ser transformado em eletricidade ou combustíveis sintéticos com finalidades comerciais, industriais ou de mobilidade.

Por outro lado, essa fonte ainda apresenta um alto custo e um maior gasto de energia. Ademais, o hidrogênio é um elemento muito volátil e inflamável, exigindo requisitos de segurança elevados para evitar fugas e explosões, de acordo com FERNANDES (2023).

Transportar mercadorias da região produtora até o destino final, de forma segura e com custo atrativo, é um desafio enfrentado no mundo todo. No caso do hidrogênio verde essa equação é mais complexa, já que devido às suas características físico-químicas, é preciso atentar





para diversos requisitos na hora do arpaçamento e do transporte. O desenvolvimento de uma cadeira produtiva e logística para o hidrogênio verde é fundamental para que este combustível cosniga crescer no Brasil, aproveitando toda a potencialidade que o mercado nacional e internacional já está abrindo.

Em outros países, Estudado Unidos, Europa, por exemplo, temos visto muitos avanços na produção, cosumo e transporte do hidrogênio verde, mas aqui no Brasil este é um desafio importante que a gente ainda nao começou a discutir, comenta Camilo Adas (2023) membro do Conselho Consultivo de Transição Energética, Hidrogênio Verde.

Como pode se observar foi criado a Lei N° 18.459, de 07.09.23 (D.O. 11.09.23), a qual o governador, institui a política estadual do hidrogênio verde, sustentável e seus derivados no âmbito do Estado do Ceará e cria o conselho Estadual de Governança e Desenvolvimento da Produção de Hidrogênio verde e seus derivados. COSTA (2023)

Este estudo tem como objetivo principal o transporte da capacidade de hidrogênio verde no Brasil, assim como, também podemos verificar através dos objetivos específicos como eficiência energética, reduzir custos, capacidade de pressão para o transporte e logística em torno do hidrogênio verde.

2. DESENVOLVIMENTO

O hidrogênio verde, produzido por meio de eletrólise da água utilizando energia renovável, emerge como uma solução promissora para os desafios energéticos e ambientais do século XXI. Este artigo apresenta uma análise detalhada do desenvolvimento do hidrogênio verde, destacando seus processos de produção, aplicativos industriais e potencial impacto na transição energética global. Por meio de revisão de literatura e análise crítica, exploramos as oportunidades e desafios associados à adoção em larga escala do hidrogênio verde.

O hidrogênio verde é produzido por meio da eletrólise da água, um processo que utiliza eletricidade renovável para dividir a água em hidrogênio e oxigênio. Esse método de produção é altamente eficiente e sustentável, pois não emite carbono e pode ser integrado com fontes de energia renovável, como solar, eólica e hidrelétrica. Nos últimos anos, o interesse pelo hidrogênio verde tem crescido significativamente devido à sua capacidade de armazenar energia, fornece uma fonte limpa de combustível e reduzir as emissões de gases de efeito estufa. IPCC (2011).

2.1 Processos de Produção de Hidrogênio Verde

O hidrogênio verde é produzido principalmente por meio de dois processos de eletrólise:





a eletrólise da água utilizando células eletrolíticas alcalinas e a eletrólise da água utilizando células eletrolíticas de membrana de troca de prótons (PEM). Ambos os métodos são eficientes e sustentáveis, mas apresentam diferenças em termos de custo, eficiência e aplicabilidade. A eletrólise alcalina é mais madura e econômica em larga escala, enquanto a eletrólise PEM é mais eficiente em termos energéticos e adequada para aplicações de menor escala.

2.2 Aplicações Industriais do Hidrogênio Verde

O hidrogênio verde tem uma ampla gama de aplicações industriais, incluindo transporte, indústria química, produção de energia e armazenamento de energia. No setor de transporte, o hidrogênio verde pode ser usado em veículos elétricos de célula de combustível, oferecendo uma alternativa limpa aos combustíveis fósseis. Na indústria química, o hidrogênio verde é um insumo essencial para a produção de amônia, metanol e outros produtos químicos. Além disso, o hidrogênio verde pode ser usado para gerar eletricidade em células de combustível e para armazenar energia excedente de fontes renováveis. HYDROGEN CONCIUL (2017).

2.3 O Potencial Impacto na Transição Energética Global

O hidrogênio verde desempenha um papel crucial na transição energética global, oferecendo uma solução flexível e sustentável para os desafios da descarbonização. Ao integrar o hidrogênio verde com fontes de energia renovável, é possível criar um sistema energético mais resiliente e com menores emissões de carbono. Além disso, o hidrogênio verde pode ajudar a reduzir a dependência de combustíveis fósseis e promover o desenvolvimento de uma economia de baixo carbono. EUROPEAN COMMISSION (2020).

2.4 Oportunidades e Desafios

Embora o hidrogênio verde ofereça muitas vantagens, também enfrenta desafios significativos em termos de custo, infraestrutura e tecnologia. A redução dos custos de produção e o aumento da escala são essenciais para tornar o hidrogênio verde economicamente viável em comparação com os combustíveis fósseis. Além disso, é necessário investir em infraestrutura de armazenamento, transporte e distribuição para apoiar a adoção em larga escala do hidrogênio verde. Avanços contínuos em tecnologias de eletrólise e células de combustível também são fundamentais para melhorar a eficiência e a confiabilidade do hidrogênio verde. IRENA (2021).

3. METODOLOGIA

Para a fundamentação teórica deste artigo, foi utilizada a revisão bibliográfica por meio da consulta de artigos científicos, artigos de opinião, dissertações e teses. De acordo com o tema





exposto, foram delimitados alguns critérios para a pesquisa, como: aspectos fundamentais, vantagens e desvantagens, países em destaque e o cenário atual e perspectivas de futuro do emprego do hidrogênio verde no Brasil.

4. RESULTADO E DISCURSÃO

O hidrogênio verde apresenta um potencial significativo para melhorar a eficiência energética em diversos setores, incluindo transporte, indústria e geração de energia. Abaixo, discuto este potencial de acordo com autores e seus estudos relevantes:

4.1 Armazenamento e Utilização de Energia Renovável

O hidrogênio verde pode ser utilizado para armazenar energia renovável excedente, proveniente de fontes intermitentes como solar e eólica. Isso melhora a eficiência energética ao permitir que a energia seja armazenada e utilizada posteriormente, conforme a demanda. Estudos como o de León et al. (2020) destacam a importância do hidrogênio verde no contexto do armazenamento de energia renovável, contribuindo para uma maior integração de fontes intermitentes no sistema energético.

4.2 Transporte Sustentável

A utilização de células de combustível movidas a hidrogênio verde em veículos elétricos pode aumentar significativamente a eficiência energética em comparação com os veículos movidos a combustíveis fósseis. Autores como Bossel (2006) discutem como a célula de combustível de hidrogênio pode oferecer uma eficiência até três vezes maior do que os motores de combustão interna, tornando-se uma opção atrativa para um transporte mais sustentável.

4.3 Cogeração de Energia

Enquanto a tendência internacional para a utilização do hidrogênio verde é em sistemas de células a combustível portáteis, para aparelhos eletrônicos de pequeno porte como computadores portáteis, telefones celulares e aparelhos de GPS, além de sistemas de cogeração de eletricidade e calor e no desenvolvimento de células a combustível para aplicações veiculares. No Brasil, segundo (CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos 2020), não estão sendo planejado a aplicação da produção de H₂ verde em células a combustível para aplicações portáteis, devendo as aplicações se destinarem principalmente a estacionárias de pequeno porte beneficiando principalmente a fontes alternativas de energias de micro hidrelétricas, painéis fotovoltaicos e geradores eólicos, empregando o hidrogênio como meio armazenador; na utilização como fonte para aplicação veicular, o estudo aponta o uso





principalmente no emprego no transporte coletivo rodoviário de passageiros.

4.4 Aplicações Industriais Mais Eficientes

Na indústria, o hidrogênio verde pode substituir os combustíveis fósseis em processos de produção, resultando em uma operação mais eficiente e com menores emissões de carbono. Há aplicações industriais que, além de dependerem dos combustíveis fósseis para a geração de calor intenso, também os requerem em outras funções, como a de agente redutor. Por conta disso, existem alguns setores considerados de difícil abatimento das emissões (hard-to-abate sectors). Nesses setores, a energia final utilizada atualmente não é a eletricidade e, em função de desvantagens técnicas e custos, não há viabilidade para que o seja no futuro. Tais setores dependem intrinsecamente de energia obtida a partir de alguma molécula (molecule-based energy source). Exemplos incluem a aviação, a navegação, a produção de ferro e aço, a indústria química, a indústria dependente de altas temperaturas em seus processos e o transporte rodoviário de longa distância (IEA, 2019).

Esses estudos evidenciam o potencial do hidrogênio verde para melhorar a eficiência energética em diversos setores, fornecendo uma alternativa limpa e sustentável para os combustíveis fósseis. Ao integrar o hidrogênio verde em sistemas energéticos, é possível otimizar o uso de energia e reduzir o impacto ambiental das atividades humanas.

A capacidade de pressão para o transporte e logística em torno do hidrogênio verde (H2V) no Brasil depende de vários fatores, incluindo infraestrutura existente, investimentos em desenvolvimento de tecnologia, políticas governamentais e demanda do mercado. Aqui estão alguns pontos-chave relacionados à capacidade de pressão para o transporte e logística do H2V no Brasil.

A regulação do hidrogênio no Brasil é abordada por diferentes órgãos governamentais, como a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o Ministério de Minas e Energia (MME) e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), entre outros. Esses órgãos podem emitir normas, resoluções e portarias relacionadas à segurança, qualidade, infraestrutura mercado do hidrogênio.

O desenvolvimento da infraestrutura para o transporte e logística do H2V no Brasil está em estágios iniciais. Silva, I. A. (2022), Hidrogênio: Combustível do Futuro. Ensaios e Ciência: ciências biológicas, agrárias e da saúde. Bem como aponta que, embora haja um crescente interesse no hidrogênio verde como alternativa energética, a falta de infraestrutura de abastecimento e transporte ainda é um desafio a ser superado.





A implementação de políticas governamentais e incentivos pode impulsionar a capacidade de pressão para o transporte e logística do H2V no Brasil. Autores como Santos, V. M.; Chaves, A. C. (2021); O papel do hidrogênio na transição energética mundial e seus desdobramentos no sistema energético brasileiro. Assim como, argumentam que políticas específicas, como subsídios para veículos movidos a hidrogênio e investimentos em infraestrutura de abastecimento, são essenciais para estimular o desenvolvimento do setor.

Parcerias entre o governo, setor privado e instituições de pesquisa podem desempenhar um papel fundamental no avanço da capacidade de pressão para o transporte e logística do H2V no Brasil. Atualmente, um maior direcionamento à efetiva construção de projetos de produção de H2 em grande escala, incluindo, ainda, a avaliação e investimentos em diferentes infraestruturas de transporte, como terminais de conversão/reconversão e navios. Nesse contexto, salienta-se que na maioria dos casos, o hidrogênio renovável, em especial o H2V, não é o produto final a ser consumido, mas serão os seus derivados, como amônia verde ou metanol, que terão importância crescente nos mercados WEICHENHAIN E SCHMITT, (2022).

Autores como Weichenhain e Schmitt (2022) destacam a importância de investimentos estratégicos e colaborações para acelerar a construção de infraestrutura e promover a adoção de tecnologias relacionadas ao hidrogênio verde.

As principais demandas de hidrogênio (cinza) no Brasil ocorrem no hidrotreatamento e hidrocrackeamento de hidrocarbonetos nas refinarias (aproximadamente 320 mil tH2 /ano), e na produção de amônia destinada à produção de fertilizantes (aproximadamente 145 mil tH2 /ano). Enquanto a primeira aplicação de hidrogênio tende a se reduzir com a eletrificação da mobilidade urbana, a demanda de H2 (verde) para a produção de amônia tende a aumentar, com a possibilidade de assumir um papel importante não só na produção de fertilizantes como também no transporte. Além disso, outras aplicações relacionadas ao comércio de commodities intensivas em energia merecem atenção no momento, embora ainda haja barreiras de custo e eficiência a serem superadas (IRENA, 2019).

5. CONCLUSÃO

Até a minha última atualização em março de 2024, não existe uma norma específica no Brasil que regule a capacidade do hidrogênio verde. No entanto, existem regulamentações e diretrizes relacionadas à produção, armazenamento, transporte e uso de hidrogênio em geral, que podem ser aplicadas ao hidrogênio verde.





No contexto do hidrogênio verde, é esperado que o governo brasileiro desenvolva regulamentações específicas à medida que a tecnologia avança e a demanda por essa fonte de energia cresce. Isso pode incluir normas relacionadas à produção sustentável, certificação de origem renovável, incentivos fiscais, padrões de qualidade e segurança, entre outros aspectos.

Recomenda-se acompanhar as atualizações das regulamentações governamentais relacionadas ao hidrogênio verde no Brasil por meio dos sites oficiais dos órgãos responsáveis e de fontes confiáveis de informação sobre energia e regulamentação. porque não tem uma norma específica para esta capacidade de pressão ao transporte do hidrogênio verde no Brasil. Assim como, também devemos estar atentos a norma a ser criada especificando a capacidade de pressão para o transporte e logística do hidrogênio verde.





6 REFERÊNCIAS

BOSSEL, Ulf; **Sustainable Transportation with Fuel Cell Vehicles and Hydrogen Renewable Energy**" (2006).

CAMILO, A; Membro do Conselho Consultivo de Transição Energética, **Hidrogênio Verde**. (2023).

COSTA, Elmano F; **Lei N° 18.459, de 07.09.23** (D.O. 11.09.23), Institui a política estadual do hidrogênio verde, sustentável e seus derivados no âmbito do Estado do Ceará e cria o conselho Estadual de Governança e Desenvolvimento da Produção de Hidrogênio verde e seus derivados (2023)

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Hidrogênio energético no Brasil**. Relatório ESTRATÉGICO, Brasília- DF: CGEE, 2020.

EUROPEAN COMMISSION, "**A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe**," 2020.

FERNANDES, G; A, João H; Ayello, Matheus; Gonçalves, Felipe; **Panorama dos desafios do Hidrogênio Verde no Brasil** (2023).

HYDROGEN COUNCIL, "**Hydrogen Scaling Up** - A Sustainable Pathway for the Global Energy Transition," 2017.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA), "**Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolyzers to Meet the 1.5C Climate Goal**," 2021.

IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, 2011. IRENA (2019). **Hydrogen: a renewable energy perspective**. Report prepared for the 2nd Hydrogen Energy Ministerial Meeting in Tokyo, Japan.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **The future of hydrogen: seizing today's opportunities**. Paris: IEA, 2019.

SILVA, I. A. **Hidrogênio: Combustível do Futuro**. Ensaios e Ciência: ciências biológicas, agrárias e da saúde, [s. l.], v. 20, n. 2, p. 122-126, 2016. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/260/26046651010.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2024.

SANTOS, V. M.; CHAVES, A. C. O papel do hidrogênio na transição energética mundial e seus desdobramentos no sistema energético brasileiro. In: GOES, S. (org.). A geopolítica da energia do século XXI. Rio de Janeiro: Editora Synergia, 2021. p. 384-392.

Weichenhain, U.; Schmitt, C. (2022). **Green H2 investments – Enabling clean energy and industry**. Disponível em: <https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/Green-H2-investments-Enabling-clean-energy-and-industry.html>. Acesso em: 25 jul. 2023.

