



Panorama e tendências da Produção de Hidrogênio Renovável: uma análise bibliométrica

Gabriel Silva Laudares da Cruz

Universidade Federal Fluminense / gabriellaudares@id.uff.br

Ana Carolina Maia Angelo

Universidade Federal Fluminense / angeloana@id.uff.br

Resumo

A crescente necessidade de descarbonização industrial e transição para fontes limpas de energia tem impulsionado o avanço do hidrogênio verde (H_2) como vetor energético essencial para a sustentabilidade global. Este artigo tem como objetivo analisar o panorama e as tendências da produção científica internacional sobre produção de hidrogênio renovável, com ênfase em sua aplicação industrial e no papel estratégico para a descarbonização de processos produtivos. O método utilizado baseou-se em análises bibliométricas conduzidas no *R Studio*, utilizando o pacote *Bibliometrix/Biblioshiny*, a partir de pesquisas realizadas no portal *Web of Science* (WoS). Os resultados evidenciam um crescimento expressivo de publicações após 2020, refletindo o avanço das políticas globais de descarbonização. Observou-se que, embora a descarbonização esteja concentrada em estudos aplicados à indústria de base, observou-se tendência de aplicação em indústrias emergentes como cimenteiras, siderurgia, cerâmica e vidro, química e também na produção de outros combustíveis. Desse modo, levantaram-se os desafios tecnológicos da viabilidade da produção de hidrogênio renovável em larga escala, considerando o cenário global de regulações, eficiência dos processos, custo e controle de riscos, com destaque para o cenário brasileiro.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

Palavras-chave: Hidrogênio verde, Energia renovável, Sustentabilidade, Descarbonização, Indústria.

Abstract

The growing need for industrial decarbonization and the transition to clean energy sources has driven the advancement of green hydrogen (H_2) as an essential energy carrier for global sustainability. This article aims to analyze the landscape and trends of international scientific production on renewable hydrogen production, with an emphasis on its industrial application and strategic role in decarbonizing production processes. The method used was based on bibliometric analyses conducted in R Studio, using the Bibliometrix/Biblioshiny package, from searches carried out on the Web of Science (WoS) portal. The results show a significant increase in publications after 2020, reflecting the progress of global decarbonization policies. It was observed that, although decarbonization is concentrated in studies applied to basic industries, there is a trend towards application in emerging industries such as cement, steel, ceramics and glass, chemicals, and also in the production of other fuels. Thus, the technological challenges of the viability of large-scale renewable hydrogen production were raised, considering the global scenario of regulations, process efficiency, cost, and risk control, with emphasis on the Brazilian scenario.

Keywords: Green hydrogen, Renewable energy, Sustainability, Decarbonization, Industry.

Resumen

La creciente necesidad de descarbonización industrial y la transición hacia fuentes de energía limpia han impulsado el avance del hidrógeno verde (H_2) como fuente energética esencial para la sostenibilidad global. Este artículo busca analizar el panorama y las tendencias en la literatura científica internacional sobre la producción de

hidrógeno renovable, con énfasis en su aplicación industrial y su papel estratégico en la descarbonización de los procesos productivos. La metodología empleada se basó en análisis bibliométricos realizados en R Studio, utilizando el paquete Bibliometrix/Biblioshiny, a partir de investigaciones realizadas en el portal Web of Science (WoS). Los resultados muestran un crecimiento significativo en las publicaciones después de 2020, lo que refleja el avance de las políticas globales de descarbonización. Se observó que, si bien la descarbonización se concentra en estudios aplicados a industrias básicas, se observó una tendencia hacia su aplicación en industrias emergentes como la del cemento, el acero, la cerámica y el vidrio, la química y la producción de otros combustibles. De este modo, se plantearon los desafíos tecnológicos para la viabilidad de la producción de hidrógeno renovable a gran escala, considerando el escenario global de regulaciones, eficiencia de procesos, control de costos y riesgos, con énfasis en el caso brasileño.

Palabras clave: Hidrógeno verde, Energía renovable, Sostenibilidad, Descarbonización, Industria.

1. INTRODUÇÃO

O enfrentamento das mudanças climáticas, provocado pela emissão de poluentes, em especial os combustíveis fósseis, levou a entidades governamentais e grupos científicos a busca pela neutralidade de carbono até 2050 (IEA, 2021).

Nesta situação, um dos principais ofensores é o gás Dióxido de Carbono (CO₂), segundo estimativas do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), este é o componente dominante do forçamento radiativo antropogênico (*Effective Radiative Forcing*): os estudos indicam que o CO₂ respondeu por cerca de 2,16 W·m⁻² do total de ≈ 2,72 W·m⁻² de forçamento antropogênico entre 1750 e 2019, equivalente a 79% do incremento total de forçamento causado por atividades humanas (IPCC, 2021).

Além disso, os inventários de emissões e as avaliações do IPCC mostram que as emissões de CO₂ provenientes de combustíveis fósseis e processos industriais (FFI) foram

responsáveis por a maior parcela das emissões antropogênicas de CO₂ na era moderna (IPCC, 2022)

Estes fatores têm colocado o hidrogênio verde (H₂) no centro das discussões energéticas e industriais, como uma alternativa de combustível para fornecer energia de maneira renovável e sem uso de carbono. Produzido a partir da eletrólise da água, processo que separa o hidrogênio H₂ e o oxigênio O₂ utilizando eletricidade proveniente de fontes renováveis (como solar e eólica), esse vetor energético apresenta emissões de carbono praticamente nulas ao longo de seu ciclo de vida (IEA, 2021).

Seu grande diferencial em relação aos combustíveis fósseis está na versatilidade de uso, podendo ser aplicado na mobilidade, geração elétrica e processos industriais pesados, como na siderurgia e produção de amônia. Também possui alta densidade energética por unidade de massa, que o torna eficiente para transporte e armazenamento (IPCC, 2021). Além disso, o hidrogênio verde contribui diretamente para as metas globais de neutralidade de carbono até 2050, servindo como eixo estratégico nas transições energéticas sustentáveis previstas em acordos internacionais (IEA, 2021; IPCC, 2021).

Este artigo tem como objetivo analisar o panorama e as tendências da produção científica internacional sobre produção de hidrogênio renovável, com ênfase em sua aplicação industrial e no papel estratégico para a descarbonização de processos produtivos.

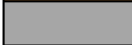
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Hidrogênio Renovável (Verde)

A viabilidade do hidrogênio como vetor energético está associada à sua abundância natural e à possibilidade de obtenção a partir de diversas fontes primárias, notadamente pela eletrólise da água e pelo reformamento de compostos hidrocarbonetos. No entanto, o hidrogênio molecular (H₂) é praticamente inexistente em quantidades significativas na natureza, ocorrendo predominantemente combinado a átomos de oxigênio, formando moléculas de água. Dessa forma, sua obtenção requer elevado aporte energético para a quebra dessas ligações químicas estáveis. (MAJEWSKI; SALEHI; XING, 2023).

Existem diferentes métodos de produção, dependendo da fonte original de hidrogênio, como água, gás natural, carvão ou petróleo. Em sua maioria, o hidrogênio produzido utiliza combustível fóssil como matéria prima. Apenas 4% do hidrogênio produzido advém do processo de eletrólise (OSMAN et al., 2023). A fonte de energia utilizada para produzir os combustíveis alternativos, como o hidrogênio por exemplo, tem relevante contribuição no seu desempenho ambiental. Por exemplo, se a eletricidade usada para abastecer veículos elétricos for oriunda de fontes renováveis, como energia fotovoltaica ou eólica, isso acarretará impactos superiores em comparação com a energia gerada por matrizes energéticas predominantemente fósseis (GARCÍA SÁNCHEZ et al., 2013). As tecnologias para produção de hidrogênio podem ser representadas por uma escala de cores, levando em consideração o processo de produção, o tipo de energia utilizada, os custos associados ao hidrogênio e as emissões resultantes (Figura 1).

Figura 1 – Classificação do Hidrogênio

Cor	Classificação	Processo de produção
	Hidrogênio preto	Gaseificação do carvão mineral (antracito) sem CCS
	Hidrogênio marrom	Gaseificação do carvão mineral (hulha) sem CCS
	Hidrogênio cinza	Produzido por reforma a vapor do gás natural sem CCS
	Hidrogênio azul	Produzido por reforma a vapor do gás natural com CCS
	Hidrogênio turquesa	Pirólise do metano, sem gerar CO ₂
	Hidrogênio verde	Via eletrólise da água com energia de fontes renováveis
	Hidrogênio verde musgo	Produzido por reformas catalíticas, gaseificação de plásticos residuais ou biodigestão anaeróbica de biomassa
	Hidrogênio rosa	Fonte de energia nuclear
	Hidrogênio amarelo	Energia da rede elétrica, produzida por várias fontes
	Hidrogênio branco	Extração de hidrogênio natural ou geológico

Fonte: Elaboração própria.

2.2. Papel do Hidrogênio Renovável na descarbonização

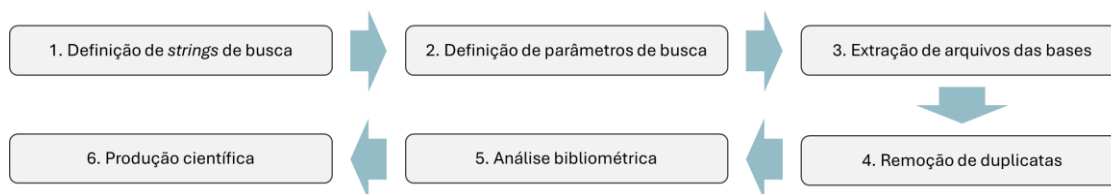
A viabilidade da produção de hidrogênio verde envolve fatores técnicos, econômicos e logísticos. O custo elevado da eletricidade proveniente de fontes renováveis mostra-se o

componente dominante do preço final do H_2 , representando até 70% do custo total de produção (IRENA, 2022). Ademais, a tecnologia de eletrólise em larga escala ainda carece de maturidade industrial: os eletrolisadores alcalinos (AEL), de membrana de troca de prótons (PEM) e de óxido sólido (SOEC) diferem em eficiência e custo, sendo este último ainda um fator limitante (IEA, 2023). O custo médio atual situa-se entre US\$ 4 a 6 por kg de H_2 , comparado a US\$ 1 a 2 por kg de hidrogênio cinza (BLOOMBERGNEF, 2024). Outras barreiras incluem a disponibilidade de energia renovável dedicada, o uso intensivo de água de alta pureza e os desafios relacionados à armazenagem e transporte de um gás de baixa densidade volumétrica e alta inflamabilidade (DUFOUR et al., 2023; MELIDEO et al., 2022).

3. MÉTODO

Com o objetivo de evidenciar as tendências do uso e da produção do hidrogênio verde e realizar análises de correlação, foi realizado um estudo bibliométrico de artigos científicos publicados na plataforma de pesquisa *Web of Science* (WoS) sobre a temática (Figura 2).

Figura 2 – Processo da análise bibliométrica



Fonte: Elaboração própria.

O estudo considerou documentos do tipo “*article*” publicados em revista indexadas até setembro de 2025. Utilizou-se dois conjuntos de *strings* de busca (Figura 3):

Figura 3 – Funil de *strings*.

“green hydrogen” AND industry

“green hydrogen” AND industry AND Decarboni*

Fonte: Elaboração própria

Foi utilizado o pacote em R chamado *bibliometrix* para condução da análise dos resultados. Para análises gráficas usou-se o *Biblioshiny*, uma aplicação voltada à análise bibliométrica que opera principalmente com dados provenientes das bases Scopus, *Web of Science* e *Dimensions*. Sua interface gráfica, além de ser organizada e de fácil utilização, representa um diferencial importante para usuários sem experiência em programação. Os desenvolvedores incorporaram um menu interativo que possibilita a execução de análises e a geração de gráficos de desempenho, uma funcionalidade pouco comum em outras ferramentas do mesmo tipo. Além disso, os resultados obtidos podem ser exportados em diferentes formatos de arquivo, permitindo, por exemplo, copiar tabelas para a área de transferência, imprimi-las ou salvá-las em planilhas Excel e arquivos PDF (MORAL-MUÑOZ et al., 2020).

3.1. Dados da análise bibliométrica

As *strings* de busca utilizados consistem em palavras-chave para alcançar trabalhos realizados sobre o composto hidrogênio verde, a sua aplicação na indústria e posteriormente em outra *string*, o seu papel no objetivo da descarbonização dos processos produtivos, abaixo segue a quantidade de documentos encontrados por *string* (Figura 4).

Figura 4 – Ocorrências x Termo de Busca

Termo	Total
“green hydrogen” AND industry	794
“green hydrogen” AND industry AND Decarboni*	316
TOTAL	1110

Fonte: Os autores com base em *Biblioshiny*.

Em primeira mão, foi possível observar uma redução de 794 para 316 documentos encontrados ao adicionar a *string* de “Decarboni*”, referente à termos como “descarbonização” ou “descarbonizar”, pode-se interpretar que o termo não é globalmente utilizado em todo o período utilizado na busca, ou os documentos que restaram mostram estudos não voltados à descarbonização de processos.

Não foram encontradas duplicatas nas duas strings, porém ao unificar as duas strings no Bibliometrix, os 316 documentos se repetem, pois são resultados da mesma *string*, porém com mais um termo de busca. Ao mesclar os dois termos, obtém-se um termo unificado, que será o principal a ser tratado neste artigo, abaixo seguem os dados principais analisados sobre os 794 documentos (Figura 5):

Figura 5 – Dados principais (*string* “green hydrogen” AND industry)

Descrição	Resultados
Intervalo de Tempo	2020:2026
Documentos	794
Palavras-chave de autores	2498
Referências	43379
Tipos de Documentos	
Artigo	794
Colaboração dos Autores	
Autores	3346
Autores de autoria única	47
Autores de autoria múltipla	3299
Autores por documento	4.21
Co-autores por documento	5.11

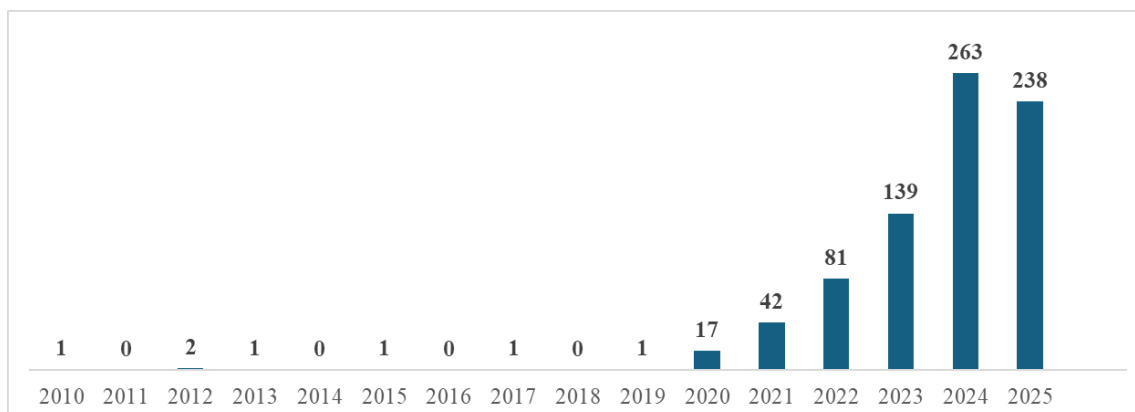
Fonte: Os autores com base em *Biblioshiny*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Dados iniciais do *Biblioshiny*

Feito os tratamentos dos dados, é apresentado na Figura 6 o número de produções científicas por ano sobre a temática.

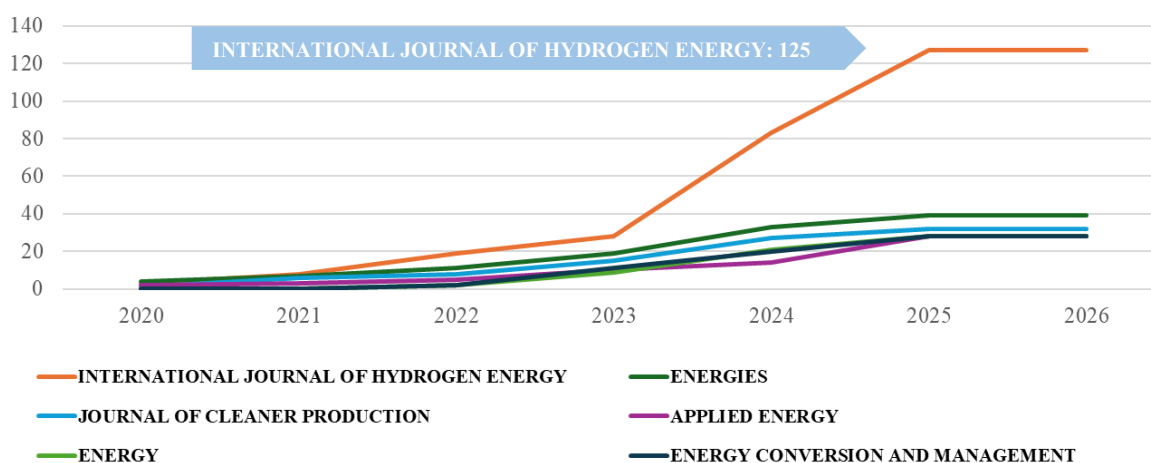
Figura 6 – Número de Produções Científicas por ano



Fonte: Os autores com base em *Biblioshiny*.

Em seguida, a evolução de ocorrências das fontes utilizadas para as produções científicas (Figura 7), foram selecionadas as 10 principais fontes utilizadas e identificado que o “*International Journal of Hydrogen Energy*” é a fonte mais utilizada de 2021 a 2025.

Figura 7 – Evolução de ocorrências das 10 principais fontes

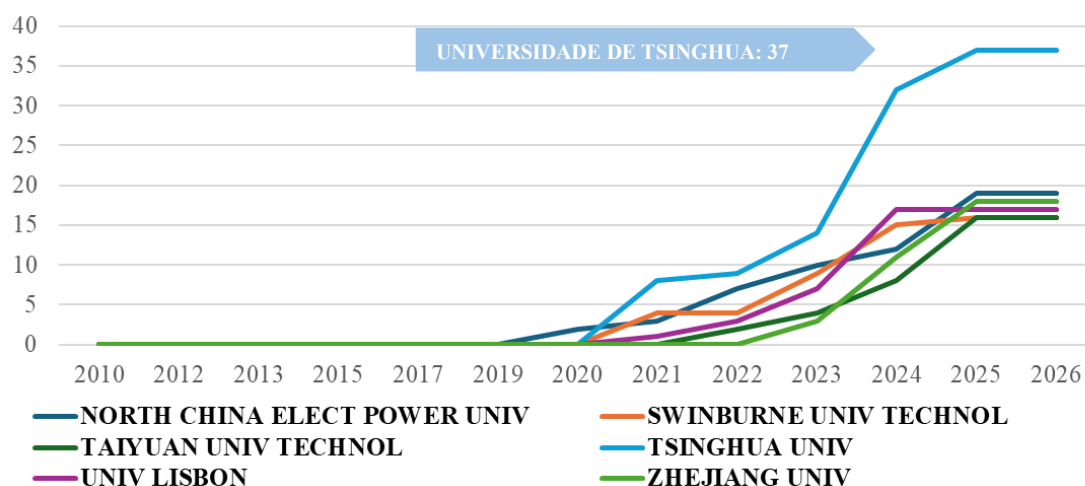


Fonte: Os autores com base em *Biblioshiny*.

Também foi possível detectar as principais instituições educacionais responsáveis pelas produções, destacando a “Universidade de *Tsinghua*”, na China, sendo a maior

responsável por publicações no período de 2021 à 2025, chegando à 37 publicações acumuladas (Figura 8).

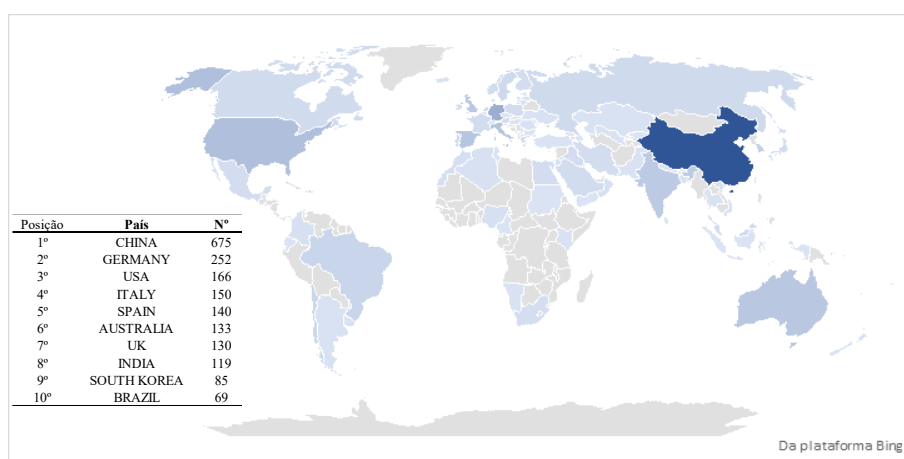
Figura 8 – Número de publicações por instituição



Fonte: Os autores com base em *Biblioshiny*.

A China também lidera o número de publicações desta temática, com 675 publicações, acompanhada de países europeus e Estados Unidos (Figura 9).

Figura 9 – Número de publicações por País



Fonte: Os autores com base em *Biblioshiny*.

Dentre os documentos mais citados globalmente, lidera com 583 citações LAGADEC (2020) “*Water electrolyzers with closed and open electrochemical*”, o artigo aborda de

forma crítica os avanços, limitações e oportunidades na evolução dos eletrolisadores de água de baixa temperatura, com foco na integração entre ciência dos materiais e engenharia de sistemas para viabilizar a produção sustentável de hidrogênio verde em larga escala. Enfatiza-se que o avanço da eletrólise depende da integração entre ciência dos materiais e engenharia de sistemas, especialmente na otimização dos componentes de *Membrane Electrode Assembly* (MEA) e do *Balance of Plant* (BOP), que concentram a maior parte dos custos de produção.

O trabalho aponta ainda a necessidade de padronização de protocolos de teste, o desenvolvimento de catalisadores alternativos ao irídio e o aprimoramento de arquiteturas inovadoras, como eletrolisadores sem membrana, sistemas com mediadores *redox* solúveis e dispositivos híbridos do tipo *battolyser*, que combinam eletrólise e armazenamento energético. Tais direcionamentos configuram saídas estratégicas relevantes para o avanço científico e industrial da produção sustentável de hidrogênio.

Em segundo lugar, GABRIELLI P (2020) “*The Role of Carbon Capture and Utilization, Carbon Capture and Storage, and Biomass to Enable a Net-Zero-CO₂ Emissions Chemical Industry*” contabiliza 394 citações, o artigo apresenta uma avaliação comparativa e quantitativa das rotas tecnológicas que permitem a descarbonização da indústria química rumo a um cenário de emissões líquidas nulas de CO₂.

As rotas analisadas incluem o *Carbon Capture and Storage* (CCS), o *Carbon Capture and Utilization* (CCU) e o uso de biomassa (BIO) como fonte de carbono renovável. A pesquisa evidencia que todas as rotas são tecnicamente viáveis, mas com limitações específicas: a dependência de locais adequados para armazenamento geológico no CCS, o alto consumo energético e elétrico no CCU, rota associada à produção de hidrogênio verde, e a elevada demanda de uso de solo no BIO. Como resultado, o trabalho fornece propostas estratégicas que orientam políticas industriais e energéticas, incluindo a necessidade de integração entre tecnologias de captura e redes comuns de CO₂, otimização de eficiência energética e avaliação de condições regionais para escolha da rota mais adequada. Em síntese, a análise destaca que a defossilização da indústria química exige soluções combinadas entre CCS, CCU e BIO, apoiadas por matrizes

A nuvem de palavras (Figura 10) possibilita visualizar as palavras-chave que giram em torno do tema, o tamanho de cada uma delas corresponde ao número de vezes que é citada, portanto, seu nível de relevância.

A word cloud visualization of research topics. The most prominent words are 'green hydrogen' and 'energy' in large, bold, pink/magenta letters. Other significant words include 'renewable energy' in purple, 'electrolysis' in dark blue, 'storage' in dark blue, 'technologies' in purple, 'water' in dark blue, 'power' in dark blue, 'design' in dark blue, 'ammonia' in dark blue, 'water electrolysis' in dark blue, 'solar' in dark blue, 'CO2' in dark blue, 'gas' in dark blue, 'wind' in dark blue, 'iron' in dark blue, 'systems' in dark blue, 'system' in dark blue, 'qualification' in dark blue, 'emissions' in dark blue, 'industry' in dark blue, 'electricity' in dark blue, 'challenges' in dark blue, 'performance' in dark blue, 'generation' in dark blue, 'energy transition' in dark blue, 'hydrogen production' in dark blue, 'hydrogen economy' in dark blue, 'life-cycle assessment' in dark blue, 'decarbonization' in dark blue, 'technology' in dark blue, 'capture efficient' in dark blue, 'reduction' in dark blue, 'electrocatalysts' in dark blue, 'model' in dark blue, 'catalysts' in dark blue, 'cost' in dark blue, 'biomass' in dark blue, 'catalysis' in dark blue, 'decarbonisation' in dark blue, 'simulation' in dark blue, 'sustainability' in dark blue, 'water' in dark blue, 'power-to-gas' in dark blue, 'economy' in dark blue, 'optimization' in dark blue, 'hydrogen production' in dark blue, and 'efficiency' in dark blue.

4.2. Desafio de logística

Destaca-se o uso da palavra “*Storage*”, referente ao armazenamento do hidrogênio verde, conhecido por ser um desafio tecnológico e econômico. A principal dificuldade decorre de suas propriedades físico-químicas, especialmente sua baixa densidade volumétrica em condições ambientais, o que exige compressão a altas pressões (350 - 700 bar) ou liquefação criogênica a temperaturas inferiores a - 253 °C para viabilizar o transporte e o armazenamento eficientes (IEA, 2021). Essas condições extremas implicam elevado consumo energético adicional, aumento de custos e a necessidade de materiais e sistemas de contenção altamente resistentes à permeação e à fragilização por hidrogênio (Dufour et al., 2023).

Além disso, o hidrogênio é altamente inflamável, com uma faixa de inflamabilidade no ar de 4% a 75% em volume, e uma energia mínima de ignição extremamente baixa ($\approx 0,02$ mJ), o que eleva o risco de incêndios e explosões em situações de vazamento (Melideo et al., 2022). Tais características demandam protocolos rigorosos de segurança, sistemas de ventilação adequados e sensores de detecção rápida, especialmente em ambientes industriais e urbanos (Züttel et al., 2020).

4.3. Contexto brasileiro

Segundo POPOVA (2023), o Brasil apresenta posição estratégica na agenda global de descarbonização em razão de sua matriz energética majoritariamente renovável, composta por cerca de 42% de fontes limpas e mais de 80% de geração elétrica renovável, principalmente de origem hídrica, eólica e solar, parte destas localizadas em regiões estratégicas, especialmente na região Nordeste do país (EPE, 2024; IEA, 2023).

Complementando, Martins et al. (2024) também salienta estes fatores como potencializadores para a produção do hidrogênio verde no país, com potencial de impulsionar o crescimento econômico e reduzir emissões industriais, especialmente em setores de difícil descarbonização, como siderurgia, transporte e produção de amônia.

Tais fatores posicionam o país como um potencial exportador relevante de hidrogênio e derivados sustentáveis, como amônia e metanol, com estimativas de custos nivelados (Custo Nivelado de Hidrogênio) competitivos abaixo de US\$ 2,00/kg até 2030 (IRENA, 2022).

Entretanto, o avanço do setor no Brasil depende da consolidação de um marco regulatório nacional, da expansão da infraestrutura logística e de políticas industriais integradas que incentivem a produção e o consumo doméstico de H_2 , sobretudo em setores de difícil descarbonização, como siderurgia e refino (GARCÍA SÁNCHEZ et al., 2013; IEA, 2024). Embora o país reúna as condições estruturais para se tornar um hub de energia renovável, a ausência de políticas coordenadas e o alto custo de capital limitam a atração de investimentos em larga escala.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

Em 2025, a comunidade científica brasileira apresentou propostas promissoras, foi inaugurado em São Paulo pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) o Laboratório de Hidrogênio (AGÊNCIA SP, 2025), espaço voltado a projetar soluções em cada elo da cadeia produtiva: produção, armazenamento e transporte, usos finais e certificação de soluções do hidrogênio balizados pela segurança e mitigação de riscos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos por meio da análise bibliométrica evidenciam a crescente relevância do hidrogênio renovável no cenário científico e tecnológico global, impulsionada pelas metas internacionais de neutralidade de carbono e pela necessidade de descarbonização industrial. Observa-se uma consolidação do tema em países com maior capacidade tecnológica e política energética estruturada, especialmente China, Alemanha e Estados Unidos, com destaque para a expansão recente das publicações a partir de 2020.

No contexto brasileiro, a combinação entre matriz elétrica predominantemente renovável e avanços institucionais, como a criação do Laboratório de Hidrogênio do IPT, indica potencial competitivo para inserção no mercado global de hidrogênio verde. Entretanto, o fortalecimento do setor depende da consolidação de políticas públicas, infraestrutura logística e investimentos contínuos em inovação.

Em síntese, o hidrogênio renovável consolida-se como vetor energético estratégico para a transição sustentável, mas sua adoção plena requer a integração entre avanços tecnológicos, viabilidade econômica e políticas de incentivo que assegurem competitividade e segurança na cadeia produtiva.

6. REFERÊNCIAS

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector**. Paris: OECD Publishing, 2021. DOI: 10.1787/932713f2-en. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. DOI: 10.1017/9781009157896.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **AR6 WGIII Chapter 2: Emissions trends and drivers**. 2022.

MAJEWSKI, Peter; SALEHI, Fatemeh; XING, Ke. **Green hydrogen**. AIMS Energy, v. 11, n. 5, p. 878–895, 2023. DOI: 10.3934/energy.2023042.

OSMAN, A. I. et al. **Critical challenges in biohydrogen production processes from the organic feedstocks**. *Biomass Conversion and Biorefinery*, v. 13, n. 10, p. 8383–8401, 20 jul. 2023.

GARCÍA SÁNCHEZ, A.; LARRAÑAGA, O.; LEAL, M.; CAMARGO, M.; ZAPATA, C. **Sustainability evaluation of hydrogen production technologies using the analytic hierarchy process**. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 38, n. 34, p. 14812–14825, 2013. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2013.09.02.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Green Hydrogen: A Guide to Policy Making**. Abu Dhabi, 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Hydrogen Projects Database 2023**. Paris: OECD Publishing, 2023.

BLOOMBERGNEF. **Hydrogen Economy Outlook 2024**. Bloomberg New Energy Finance, 2024.

DUFOUR, A. et al. Hydrogen storage technologies: Recent progress and challenges for green energy transition. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 48, n. 3, p. 1851–1873, 2023. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2022.09.145.

MELIDEO, D. et al. Safety aspects of hydrogen technologies: State of the art and research perspectives. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 47, n. 31, p. 14067–14083, 2022. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2022.02.086.

MORAL-MUÑOZ, José A.; HERRERA-VIEDMA, Enrique; SANTISTEBAN-ESPEJO, Antonio; COBO, Manuel J. Software tools for conducting bibliometric analysis in science: An up-to-date review. **El Profesional de la Información**, v. 29, n. 1, 2020. DOI: 10.3145/epi.2020.ene.03.

LAGADEC, Marie-France; GRIMAUD, Alexis. **Water electrolyzers with closed and open electrochemical systems**. **Nature Materials**, v. 19, p. 1140–1150, 2020. DOI: 10.1038/s41563-020-0743-3.

GABRIELLI, Paolo; GAZZANI, Matteo; MAZZOTTI, Marco. **The role of carbon capture and utilization, carbon capture and storage, and biomass to enable a net-zero-CO₂ emissions chemical industry**. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 59, n. 15, p. 7033–7045, 2020. DOI: 10.1021/acs.iecr.9b06579.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global Hydrogen Review 2021**. Paris: OECD Publishing, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021>.

ZÜTTEL, A. et al. Hydrogen storage and safety: From fundamental properties to practical systems. **Energy & Environmental Science**, v. 13, n. 9, p. 2517–2541, 2020. DOI: 10.1039/d0ee00520b.

POPOVA, I. **Key Low-Carbon Development Policies and Instruments in Brazil**. **International Organisations Research Journal**, v. 18, n. 4, p. 34–61, 2023. DOI: 10.17323/1996-7845-2023-04-02.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Nacional do Hidrogênio – 2024**. Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2024.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global Hydrogen Review 2023**. Paris: OECD Publishing, 2023.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

MARTINS, P. H. dos S. et al. **Brazil's New Green Hydrogen Industry: An Assessment of Its Macroeconomic Viability Through an Input–Output Approach.** *Economies*, v. 12, n. 333, 2024. DOI: [10.3390/economies12120333](https://doi.org/10.3390/economies12120333).

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Green Hydrogen Cost and Logistics.** Abu Dhabi, 2022.

AGÊNCIA SP. **IPT inaugura Laboratório de Hidrogênio.** Agência SP, 10 out. 2025. Disponível em: <https://www.agenciasp.sp.gov.br/ipt-inaugura-laboratorio-de-hidrogenio/>.