

# Biomassas e biocombustíveis competitivos para estruturação do mercado brasileiro de hidrogênio carbono neutro ou negativo

Natália Moreno Viana<sup>1</sup>, Andressa Ribeiro de Araújo<sup>2</sup>, Emerson Léo Schultz<sup>3</sup>, Ana Cristina dos Santos<sup>4</sup>, Rossano Gambetta<sup>5</sup>, Sérgio Saraiva Nazareno dos Anjos<sup>6</sup>

## Resumo

O hidrogênio pode ser considerado atualmente a fonte de energia limpa mais promissora para cumprimento das diretrizes do Protocolo de Kyoto, do Acordo de Paris e da COP 27. O Brasil tende a se destacar no mercado mundial de hidrogênio carbono neutro ou negativo pela sua alta representatividade no mercado internacional de biocombustíveis e pela diversidade de biomassas. O objetivo deste trabalho foi apresentar biomassas e biocombustíveis mais representativos em projetos brasileiros de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) para desenvolvimento de soluções tecnológicas para produção de hidrogênio carbono neutro ou negativo. Realizou-se uma análise prospectiva de projetos de PD&I executados entre janeiro de 2007 e julho de 2023 e recuperados de currículos cadastrados na plataforma Lattes/CNPq. Dos projetos selecionados, destacaram-se os termos etanol, biogás e cana-de-açúcar (incluindo biomassa, coprodutos e resíduos) como fontes de hidrogênio carbono neutro ou negativo. Mesmo que os resultados dos projetos de PD&I sejam alcançados e entregues nas próximas décadas, a prospecção de biomassas e biocombustíveis obteve resultados que fortalecem segmentos de mercado relevantes atualmente no Brasil (etanol e cana-de-açúcar) e que estão em expansão (biogás), que apresentam tendência científica favorável à competitividade no País no mercado mundial.

**Termos para indexação:** hidrogênio renovável, energia limpa, competitividade, projetos de PD&I.

## Introdução

A busca por novas fontes de energia é um objetivo mundial para, além de mitigar os gases de efeito estufa, frear o aquecimento do planeta e cumprir os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), como ODS 7 (Energia Limpa e Acessível) e ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima). Tais iniciativas compõem o cumprimento do Protocolo de Kyoto, do Acordo de Paris, visando a mitigação da emissão de gases de efeito de estufa, e da COP 27, para substituição de combustíveis fósseis por renováveis (Goldemberg, 2023).

O hidrogênio (H<sub>2</sub>) é um elemento abundante no planeta, sendo encontrado na natureza essencialmente em combinação com outros elementos (Nazir et al., 2020). É considerado uma fonte de energia limpa, dependendo do método de obtenção, já que sua combustão não emite dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), vantagem que tornou o H<sub>2</sub> alvo de interesse na exploração comercial para aplicação nos setores de energia industrial, residencial, comercial e de transporte, com o intuito de mitigar

<sup>1</sup> Bacharel em Gestão do Agronegócio, Embrapa Agroenergia (bolsa do projeto TED-Biogás, recursos SDI/Mapa), natalia.viana@colaborador.embrapa.br

<sup>2</sup> Graduada em Engenharia Química, Universidade de Brasília, andressaribeiro08@gmail.com

<sup>3</sup> Engenheiro químico, doutor em Engenharia Química, Embrapa Agroenergia, emerson.schultz@embrapa.br

<sup>4</sup> Administradora e jornalista, mestranda do Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação, Embrapa Agroenergia, anacristina.santos@embrapa.br

<sup>5</sup> Engenheiro químico, doutor em Engenharia Química, Embrapa Agroenergia, rossano.gambetta@embrapa.br

<sup>6</sup> Farmacêutico e administrador, doutorando em Ciências Ambientais, Embrapa Agroenergia, sergio.saraiva@embrapa.br

gases de efeito estufa (Nazir et al., 2020; Karmaker, et al., 2022; Goldemberg, 2023). Dentre os métodos de obtenção do hidrogênio, o mais utilizado atualmente é a reforma do gás natural, que, apesar de ser um processo de baixo custo, é baseado em fonte fóssil, portanto, emite  $\text{CO}_2$ , que contribui para o agravamento do efeito estufa. Esse  $\text{H}_2$  é utilizado principalmente na indústria petroquímica para a produção de amônia e no refino de petróleo (Dash et al., 2023).

A busca por combustíveis que contribuem para descarbonização desencadeou o desenvolvimento de tecnologias para a obtenção de hidrogênio com menor emissão de  $\text{CO}_2$ . Uma alternativa em debate é o hidrogênio proveniente de fontes renováveis. No âmbito mercadológico, tem-se utilizado o termo “hidrogênio verde” para abarcar todas as fontes renováveis. No entanto, o termo refere-se apenas ao hidrogênio obtido a partir do processo de eletrólise da água usando energia elétrica obtida de fontes como eólica e solar, sendo esse o método mais utilizado pela indústria atualmente (*International Renewable Energy Agency*, [s.d.]).

Outro termo que tem sido utilizado é o “hidrogênio verde-musgo”, que se refere à produção de  $\text{H}_2$  a partir de biomassas ou biocombustíveis, com ou sem captura de  $\text{CO}_2$ , por métodos de gaseificação, reforma catalítica ou biodigestão anaeróbia (Oliveira, 2022). Contudo, por não serem essas as únicas rotas sustentáveis de produção e também em razão de divergência em relação às nomenclaturas, considera-se mais adequado utilizar o termo “hidrogênio carbono neutro ou negativo” para o hidrogênio obtido de fontes renováveis diversas (Brasil, 2022b).

A adoção de outras rotas de produção de hidrogênio carbono neutro ou negativo, além da eletrólise de água, como o que é obtido por meio da utilização de biomassa e biocombustíveis produzido por reformas catalíticas, gaseificação ou biodigestão (hidrogênio verde-musgo) (Oliveira, 2022), poderia tornar o Brasil mais competitivo no cenário global em razão da grande disponibilidade de resíduos agropecuários para aproveitamento energético (Empresa de Pesquisa Energética, 2019). Sendo assim, o objetivo deste trabalho é apresentar as biomassas e os biocombustíveis mais representativos em projetos brasileiros de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) e discutir o desenvolvimento de soluções tecnológicas para produção de hidrogênio carbono neutro ou negativo e estruturação do mercado nacional.

## Materiais e métodos

Foi realizado um estudo prospectivo de caráter semiquantitativo e exploratório para evidenciar a obtenção de biomassas e biocombustíveis em projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) em execução no Brasil. Os dados foram extraídos de currículos na Plataforma Lattes/CNPq, independentemente da fonte de financiamento, considerando a produção de hidrogênio carbono neutro ou negativo. Por ser a primeira etapa do desenvolvimento tecnológico, a análise prospectiva de projetos de PD&I permite levantar tendências científicas para posterior apoio na análise de tendências futuras (Motta et al., 2017). Em complemento, foram recuperados dados mercadológicos e produtivos sobre hidrogênio a partir de literatura científica, relatórios de mercado e legislação, com o intuito de analisar o atual cenário produtivo em relação às ações de PD&I.

A busca de projetos na Plataforma Lattes/CNPq foi realizada por nomes de pesquisadores brasileiros prospectados na base de dados *Web of Science* a partir de artigos científicos recuperados usando as palavras-chaves “renewable hydrogen” OR “moss green hydrogen” e depois refinada para o Brasil. Outros nomes foram recuperados em busca na própria plataforma Lattes/CNPq, considerando a palavra “hidrogênio”.

Em seguida, de cada currículo, foram extraídas as descrições fornecidas pelos autores de projetos com abordagem sobre hidrogênio carbono neutro ou negativo. No total, 194 currículos com

projetos abordando hidrogênio carbono neutro ou negativo foram recuperados, e desses foram selecionados 114 projetos para análise, sendo os dados consolidados em uma planilha eletrônica.

## Resultados e discussão

Em 2020, a demanda global por hidrogênio alcançou 90 milhões de toneladas, com expectativa de atingir 175 milhões de toneladas até 2050, com custo de produção variando entre 1,20 US\$/kg–2,50 US\$/kg (Global..., 2022). Apesar de o hidrogênio se mostrar promissor para a transição energética, o elemento atraiu apenas 0,08% do total dos investimentos mundiais em 2022, contando com US\$ 1,1 bilhão, sendo a América o continente que mais contribuiu com os investimentos, 44% de participação (International Renewable Energy Agency, 2023).

No Brasil, a disponibilidade de energia proveniente de fontes renováveis atraiu investimentos nacionais e internacionais para a produção de hidrogênio no País, somando US\$ 27 bilhões em 2022. Por volta de 66,7% dos investimentos estão concentrados no Porto do Pecém, município de São Gonçalo do Amarante, CE, fato que se dá principalmente pela localização em uma zona de exportação, com conexão com portos marítimos da Europa, e pelo potencial de energia eólica e solar da região, possibilitando a produção via eletrólise da água, rota de produção de interesse da maioria dos investidores (Oliveira, 2022).

Apesar de a maioria dos investimentos se voltarem para a produção de hidrogênio via eletrólise da água, existe interesse na diversificação de rotas para a obtenção do elemento. Na busca de projetos em currículos na plataforma Lattes/CNPq, identificou-se que desde 2007 há projetos no Brasil voltados para a produção de hidrogênio a partir de biomassa e biocombustíveis. Foram identificados cerca de 20 biomassas e biocombustíveis nos 114 projetos analisados, conforme apresentado em nuvem de palavras na Figura 1. Dentre os termos mais recorrentes, destacam-se etanol, biogás e cana-de-açúcar, seguidos por resíduos agroindustriais, microalga e biomassa não especificada nos projetos.



**Figura 1.** Nuvem de palavras com recorrência de biomassas e biocombustíveis nos projetos para hidrogênio carbono neutro ou negativo.

Além dos investimentos em projetos de pesquisa e infraestrutura industrial que buscam contribuir para a descarbonização, percebe-se um esforço governamental para instituir normas legais e políticas públicas de regulação do uso de hidrogênio para fins energéticos no País. Em 2022, foi instituído o Programa Nacional do Hidrogênio, por meio da Resolução nº 6, de 23 de junho de 2022, com o objetivo de fortalecer o mercado e a indústria do hidrogênio como fonte energética e incentivar o desenvolvimento tecnológico nacional (Brasil, 2022a).

Ainda em 2022, foi elaborado o Projeto de Lei nº 1.878, de 2022, que propõe Política Nacional do Hidrogênio Verde, com o intuito de traçar diretrizes sobre produção, utilização, transporte, armazenamento e comércio de hidrogênio de carbono neutro ou negativo. Posteriormente, foi apresentada a Emenda 1 PLEN - PL 1.878/2022, que traz definições sobre as diferentes rotas de obtenção

de hidrogênio de forma sustentável como a partir de biomassa e biocombustíveis. Propõe também a inclusão delas no projeto de lei, ressaltando a importância de ampliar as rotas produtivas, sem evidenciar o hidrogênio verde obtido da eletrólise de água (Brasil, 2022b).

A produção de hidrogênio via fontes renováveis para a transição energética ainda enfrenta desafios, como no sistema de transporte, estocagem e viabilidade técnico-econômica, sendo que o custo de produção ainda não é competitivo em comparação ao obtido de fontes fósseis (Ahmed et al., 2021; Yin; Wang, 2022). O custo produtivo de hidrogênio obtido de biomassa pode alcançar entre 1,34 US\$/kg e 4,7 US\$/kg, enquanto o custo de obtenção do hidrogênio de fontes fósseis é entre 0,8 US\$/kg e 1,7 US\$/kg. Contudo, a rota produtiva via biomassa se mostra mais vantajosa em relação a outras rotas, como a partir de energia hidrelétrica, eólica e fotovoltaica para eletrólise, cujo custo produtivo alcança de 4,23 US\$/kg a 9,8 US\$/kg (Yin; Wang, 2022), o que norteia e estimula a confecção de novos projetos para avanço em escala de maturidade visando à obtenção de tecnologias prontas para licenciamento.

## Conclusão

A diversificação da produção de energia é uma tendência mundial, particularmente para controle e mitigação de gases de efeito estufa, controle do aumento da temperatura do planeta e desenvolvimento de fontes limpas e sem emissão de carbono, segundo metas e diretrizes globais.

O hidrogênio é considerado uma das fontes mais promissoras de energia limpa e renovável e a maior parte do que é disponibilizado no mercado é obtida por eletrólise de água (hidrogênio verde). Biocombustíveis e biomassas também são fontes para obter hidrogênio verde-musgo, nos quais o Brasil tem destaque pela alta disponibilidade e diversidade de biomassas, bem como pela representatividade no mercado internacional de biocombustíveis.

Este estudo indica que desde 2007 há interesse em rotas de produção de hidrogênio a partir de biomassas e biocombustíveis, com ênfase para as cadeias produtivas do agronegócio do etanol, biogás e cana-de-açúcar. Assim, a partir da análise de projetos de PD&I no Brasil sobre hidrogênio carbono neutro ou negativo, suscitou-se tendência científica favorável à competitividade do País no mercado mundial. Houve também a indicação de prospecção de novas fontes além de etanol, biogás e cana-de-açúcar, como outros resíduos agroindustriais e microalgas, que podem tornar o Brasil competitivo no mercado mundial.

## Referências bibliográficas

- AHMED, S. F.; RAFA, N.; MOFIJUR, M.; BADRUDDIN, I. A.; INAYAT, A.; ALI, M. S.; FARROK, O.; YUNUS KHAN, T. M. Biohydrogen production from biomass sources: metabolic pathways and economic analysis. *Frontiers in Energy Research*, v. 9, 2021. Article 753878.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Resolução nº 6 de 23 de junho de 2022**. Institui o Programa Nacional do Hidrogênio, cria o Comitê Gestor do Programa Nacional do Hidrogênio, e dá outras providências. Brasília, DF, 2022a. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe/resolucoes-do-cnpe/2022/Res62022.pdf>. Acesso em 24 jul. 2023.
- BRASIL. Senado Federal. **Projeto de Lei nº 1878, de 2022**. Cria a Política que regula a produção e usos para fins energéticos do Hidrogênio Verde. Brasília, DF, 2022b. Disponível em: [https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=9180876&ts=1681996223718&disposition=inline&\\_gl=1\\*\\_qs1995\\*\\_ga\\*NTM5MTQ3MDY0LjE2OTUwNjM0MDU.\\*\\_ga\\_CW3ZH25XMK\\*MTY5NTA2MzQwNS4xLjEuMTY5NTA2MzUzNS4wLjAuMA](https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=9180876&ts=1681996223718&disposition=inline&_gl=1*_qs1995*_ga*NTM5MTQ3MDY0LjE2OTUwNjM0MDU.*_ga_CW3ZH25XMK*MTY5NTA2MzQwNS4xLjEuMTY5NTA2MzUzNS4wLjAuMA). Acesso em: 24 jul. 2023.
- DASH, S. K.; CHAKRABORTY, S.; ELANGO VAN, D. A brief review of hydrogen production methods and their challenges. *Energies*, v. 16, n. 3, 2023. 1141.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Potencial energético dos resíduos agropecuários**. Brasília, 2019. (Informe Técnico, Série SUenergia). Disponível em: <https://shorturl.at/aACGO>. Acesso em: 26/09/2023
- GLOBAL hydrogen flows: hydrogen trade as a key enabler for efficient decarbonization. [S.l.]: Hydrogen Council: Mckinsey & Company, 2022.

- GOLDEMBERG, J. Trinta anos da convenção do clima. **Estudos Avançados**, v. 37, n. 107, p. 277-187, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2023.37107.016>. Acesso em: 22 jul. 2023.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Policies for green hydrogen**. Abu Dhabi, [2023]. Disponível em: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Policy/Policies-for-green-hydrogen>. Acesso em 19/07/2023.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Global landscape of renewable energy finance**. Abu Dhabi, 2023.
- KARMAKER, S. C.; CHAPMAN, A.; SEN, K. K.; HOSAN, S.; SAHA, B. B. Renewable energy pathways toward accelerating hydrogen fuel production: evidence from global hydrogen modeling. **Sustainability**, v. 15, n. 1, 2022. 588.
- MOTTA, L. J.; FERRAZ, R. R. N.; QUONIAM, L.; MENA-CHALCO, J. P. Prospecção acadêmica dos projetos financiados sobre dengue no Brasil: uso da ferramenta Sciplattes como apoio ao planejamento de pesquisas em saúde pública. **Encontros Bibli: Revista Eletrônica de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, v. 22, n. 50, p. 114-127, 2017. DOI: 10.5007/1518-2924.2017v22n50p114.
- NAZIR, H.; LOUIS, C.; JOSE, S.; PRAKASH, J.; MUTHUSWAMY, N.; BUAN, M. E. M.; FLOX, C.; CHAVAN, S.; SHI, X.; KAURANEN, P.; KALLIO, T.; MAIA, G.; TAMMEVESKI, K.; LYMPEROPOULOS, N.; CARCADEA, E.; VEZIROGLU, E.; IRANZO, A.; KANNAN, A. M. Is the H2 economy realizable in the foreseeable future? Part I: H2 production methods. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 45, n. 27, p. 13777-13788, 2020.
- OLIVEIRA, R. C. dos. **Panorama do hidrogênio no Brasil**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2022. (Texto para Discussão, 2787). Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/11291>. Acesso em: 22 jul. 2023.
- YIN, Y.; WANG, J. Production of biohydrogen. In: CASTRO, F. I. G.; GUTIÉRREZ-ANTONIO, C. (Ed.). **Biofuels and biorefining**. Amsterdam: Elsevier, 2022. p. 283-337.