

HIDROGÊNIO VERDE: OPORTUNIDADES E DESAFIOS PARA O BRASIL¹

Nelson Siffert²

Katia Rocha³

SINOPSE

No contexto de transição energética e descarbonização da economia global, o hidrogênio verde, ou renovável, posiciona-se como um dos protagonistas. Estudo recente da Fundação Fraunhofer destaca a competitividade do Brasil na produção e exportação de produtos *Power-to-X*, em especial do hidrogênio líquido e da amônia verde. Estão previstos investimentos expressivos nos próximos anos, boa parte direcionados para países em desenvolvimento. Ao Brasil, caberá uma parcela maior ou menor deste montante, a depender da capacidade que tivermos de transformar a oportunidade aberta pela transição energética em investimento e desenvolvimento. O desafio consiste em formular políticas públicas que permitam nos valer das nossas vantagens comparativas, transformando-as em verdadeiras vantagens competitivas para o desenvolvimento da indústria nascente do hidrogênio verde.

Palavras-chave: hidrogênio verde; competitividade; produtos *Power-to-X*.

1 APRESENTAÇÃO

No contexto de transição energética global, a necessidade acelerada para atingir as metas de descarbonização tem inspirado toda uma agenda de políticas voltadas para o desenvolvimento e ampliação do mercado de hidrogênio de baixo carbono, em especial do hidrogênio verde ou renovável, mobilizando formuladores de políticas públicas, investidores, financiadores e agências internacionais de energia.

O Leilão H2Global⁴ e o recém-anunciado Leilão Europeu⁵ são dois exemplos que buscam acelerar o desenvolvimento da indústria de hidrogênio verde e de seus derivados em diversos países.

Tais iniciativas demandam suporte de políticas públicas devido à falta de competitividade do hidrogênio verde e seus derivados, diante dos preços praticados por produtos similares de origem fóssil (cinzas). Não há sinais econômicos que levem as empresas a pagarem um prêmio por produtos verdes. É preciso que a precificação do carbono ocorra para que os sinais de preços de mercado promovam, por si só, mudanças nos preços relativos entre produtos verdes e cinzas.

Quando se observa a expressiva redução de custos nivelados (*levelized cost of energy* – LCOE) das energias eólica e solar fotovoltaica (PV) na última década, da ordem de 70% a 80%, acompanhada pelos custos de investimentos da unidade geradora com aumentos significativos no fator de capacidade (tabela 1), a hipótese de que algo semelhante ocorra com hidrogênio verde é bem razoável.

1. DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/radar74art2>

2. Diretor da Instituição de Ciência, Tecnologia e Inovação Rede de Estudos do Setor Elétrico (ICT Resel); e pesquisador bolsista do Subprograma de Pesquisa para o Desenvolvimento Nacional (PNPD) na Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais, de Inovação, Regulação e Infraestrutura (Diset) do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). *E-mail:* nelson.siffert@ictresel.org.br.

3. Técnica de planejamento e pesquisa na Diset/Ipea. *E-mail:* katia.rocha@ipea.gov.br.

4. Mais detalhes em: <https://www.h2-global.de/>.

5. Ver em: https://climate.ec.europa.eu/system/files/2023-08/innovationfund_pilotaction_termsandconditions_en.pdf.

TABELA 1

Custo total, fator de capacidade e LCOE por tecnologia (2010 e 2022)¹

	Custo total			Fator de capacidade			LCOE		
	2010	2022	Varição (%)	2010	2022	Varição (%)	2010	2022	Varição (%)
Bioenergia	2.904	2.162	-26	72	72	0	0,082	0,061	-26
Geothermal	2.904	3.478	20	87	85	-2	0,053	0,056	6
Hidroelétrica	1.407	2.881	105	44	46	5	0,042	0,061	45
Solar PV	5.124	876	-83	14	17	21	0,445	0,049	-89
Solar CSP	10.082	4.274	-58	30	36	20	0,38	0,118	-69
Eólica <i>onshore</i>	2.179	1.274	-42	27	37	37	0,107	0,033	-69
Eólica <i>offshore</i>	5.217	3.461	-34	38	42	11	0,197	0,081	-59

Fonte: Irena (2022).

Notas: ¹ Média ponderada global.

Obs.: CSP – concentração de energia solar.

2 A COMPETITIVIDADE DO BRASIL NA INDÚSTRIA DO HIDROGÊNIO VERDE – PRODUTOS *POWER-TO-X*

Estudo recente da Fundação Fraunhofer (Hank *et al.*, 2023), que analisa a competitividade de diversos países nas exportações de derivados do hidrogênio verde, apresenta resultados que podem servir de pontos de atenção ao formulador de política pública.

O Brasil foi selecionado para compor a amostra do estudo (12 países e 39 localidades), tomando como referência os custos de produção em três localidades, situadas no Rio Grande do Norte, na Bahia e no Rio Grande do Sul.

Os resultados estabelecem indicadores técnicos e operacionais necessários à modelagem econômico-financeira de futuros projetos de hidrogênio verde e derivados, destinados ao mercado externo. Também possibilitam identificação de parâmetros críticos que impactam a competitividade do Brasil em relação a países *peers* no desenvolvimento da indústria de hidrogênio verde, um dos objetivos referido no Programa Nacional de Hidrogênio.⁶

O Brasil aparece com posição de destaque na amostra, com maior competitividade na produção e exportação de alguns produtos *Power-to-X* (PtX),⁷ em especial do hidrogênio líquido e da amônia verde, com um preço *cost, insurance and freight* (CIF)⁸ de € 5,71/kg para o hidrogênio verde líquido (LH2) e € 886/t para amônia verde (NH3). Revela-se o mais competitivo (menor custo nivelado – LCoPtX) nesses produtos.

A elevada competitividade brasileira decorre de quatro fatores: i) boa *performance* dos ventos e da insolação em algumas regiões do nosso país, que se traduz em fatores de capacidade ou eficiência entre os mais elevados de toda a amostra, com custo nivelado de produção de energia solar PV e eólica que oscila entre € 29/MWh e € 41/MWh respectivamente; ii) complementariedade das fontes híbridas de geração solar e eólica, viabilizando a operação do eletrolisador com elevado fator de capacidade em sistemas *off-grid* (76% a 82%); iii) adensamento local da cadeia produtiva, proporcionando um ambiente com várias alternativas de provedores de equipamentos e serviços de

6. Ver em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/programa-nacional-do-hidrogenio-1>.

7. PtX é a tecnologia que converte energia renovável gerada por centrais fotovoltaicas ou eólicas em outras fontes de energia, ou carregadores de energia, como hidrogênio verde, metanol verde, amônia verde e combustíveis sustentáveis de aviação (SAF), que podem ser utilizados como substitutos de combustíveis fósseis.

8. No porto de Brunsbüttel, na Alemanha.

engenharia e montagens voltadas para indústria de energias renováveis, viabilizando valores para o Capex e Opex, abaixo daqueles observados nos países *peers*; e iv) custo de capital relativamente baixo entre os países emergentes, estimado em 6,5% ao ano (a.a.).

Todavia, em que pese a aparente competitividade do Brasil, em termos globais, na economia do hidrogênio verde, alguns pontos merecem atenção.

Quando se relaxa a hipótese de geração dedicada (*off-grid*) e se considera o custo de aquisição da energia por meio da rede básica, o Brasil apresenta um custo de aquisição de energia da ordem de € 150/MWh.⁹ Este valor é cerca de três a cinco vezes maior que o custo de geração das energias eólica e solar PV. Sob esta ótica, que leva em conta o diferencial entre o preço marginal de geração e a tarifa, nossa posição cai para 10ª entre os doze países examinados.

Essa queda no *ranking* de competitividade passa pelo exame da composição da tarifa de energia e dos diversos encargos setoriais do sistema elétrico. Modelos de negócios no caso brasileiro poderão demandar que a energia renovável consumida pelos eletrolisadores venha transitar pela rede básica, implicando acréscimo considerável no custo nivelado do hidrogênio (LCOH) e seus derivados dos valores da TUST e outros encargos setoriais.¹⁰ Estudos apontam que os gastos com a Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão (TUST) podem provocar um acréscimo no custo nivelado (LCOH) da ordem de até € 0,60/kg H₂.¹¹ Implicaria uma diminuição da competitividade dos derivados de hidrogênio verde – PtX; uma queda da primeira posição para posições ao final do *ranking*.

Nesse sentido, a racionalização de encargos e subsídios, sinal locacional e toda a agenda de modernização do setor elétrico¹² deve ser prontamente endereçada, uma vez que afeta a competitividade do mercado de hidrogênio verde e derivados no Brasil.

3 POLÍTICAS PÚBLICAS E INCENTIVOS PARA O HIDROGÊNIO VERDE

O mercado de hidrogênio de baixo carbono abrange diversas rotas tecnológicas de produção, a partir de fontes renováveis de energia, inclusive biomassa e biocombustíveis, combustíveis fósseis com captura, armazenamento ou uso de carbono, energia nuclear, resíduos e outras tecnologias de baixa emissão, incluindo combinações de processos (processos híbridos).

As diferentes rotas tecnológicas, com diferentes atributos ambientais e operacionais e encadeamentos *upstream* bastante distintos, aumentam a complexidade do mercado e dificultam, tanto para os investidores como para os formuladores de políticas públicas, as escolhas sobre em qual direção concentrar os esforços e incentivos. No Brasil, o Programa Nacional de Hidrogênio optou pela neutralidade tecnológica e o foco no conceito de hidrogênio de baixa emissão, ou baixo carbono, com vista a desenvolver uma economia do hidrogênio no Brasil.¹³

9. A tarifa média ponderada residencial no Brasil é cerca de R\$ 726/MWh antes de tributos, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). Disponível em: <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/rankingtarifas>.

10. A hipótese de que o parque gerador se localiza a uma distância não maior que 100 km da unidade de produção de hidrogênio verde e seus derivados é factível, uma vez que a produção de PtX é destinada às exportações, situando-se próxima aos portos. Arbache e Esteves (2023) já colocam a tendência de que o *powershoring* venha a ser um vetor relevante na determinação da localização de plantas industriais, ou seja, que novos investimentos em produtos intensivos em energia se situem em áreas com disponibilidade de energias renováveis. Todavia, no caso brasileiro, é provável que um parque gerador do tamanho previsto para atender a um eletrolisador de 1 GW situe-se a uma distância maior que a definida nos estudos, implicando transitar pela rede básica e incorrendo nos custos relativos à TUST e respectivos encargos setoriais.

11. Ver em: <https://ictresel.org/>.

12. Disponível em: <http://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/secretaria-executiva/modernizacao-do-setor-eletrico/gt-modernizacao/relatorio-final>.

13. Ver o Plano Trienal 2023-2025 do PNH2, disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/Apresentao_Reunioampliada_PNH2_.pdf.

No entanto, as incertezas para os agentes públicos e privados são ampliadas uma vez que as rotas podem concorrer entre si (hidrogênio verde x azul).¹⁴ Além disso, embora possam conviver por longos períodos, disputando *market share*, esperam-se alterações em uma ou outra direção, em maior ou menor velocidade, à medida que se acumulem os ganhos de escala, que se aumente a eficiência e que os sinais econômicos precifiquem suas externalidades ambientais (taxação de carbono).

Em particular, no desenvolvimento da economia do hidrogênio verde, são previstos volumes expressivos de investimentos nos próximos anos. Estimam-se cifras da ordem de US\$ 9,4 trilhões até 2050, sendo US\$ 3,1 direcionados para países em desenvolvimento. Desse total, 49% serão destinados ao segmento *upstream* (geração de energia solar e eólica); 25% ao *midstream* (eletrolisadores); e o restante, ao segmento *dowstream* (transportes e conversão).¹⁵

Ao Brasil caberá uma parcela maior ou menor desse montante, a depender da capacidade que tivermos de transformar a oportunidade aberta pela transição energética em algo realmente transformador.

Primeiramente, cabe reconhecer que se trata de um ambiente fortemente competitivo entre diferentes geografias. Iniciativas de políticas públicas como o Inflation Reduction Act, com subsídios de US\$ 3/kg de H₂, ou os diversos leilões europeus, com equalizações que podem alcançar cifras ao redor de € 4 bilhões, têm sido adotadas em todo o mundo. Visam promover localmente os investimentos na cadeia produtiva do hidrogênio verde, valendo-se de mecanismos que promovem a competição e sustentação da demanda de produtos derivados do hidrogênio verde. São estabelecidos contratos com *offtakers*, de longo prazo, que reduzem a volatilidade dos preços, preferencialmente por meio de leilões competitivos, sempre se buscando a eficiência no uso de recursos públicos e subsídios. Tal estratégia é concebida como um apoio temporário de política pública à indústria nascente, dada a expectativa de aumento de competitividade da molécula verde nos próximos anos em comparação à cinza, seja devido aos ganhos de escala e eficiência já mencionados, seja pela taxaço de carbono.

A experiência brasileira no setor eólico, cabe rememorar, teve no Programa de Incentivo a Fontes Alternativas (Proinfa) um importante pilar para a sua expansão. Atualmente, 85% da matriz elétrica brasileira corresponde a geração renovável, sendo 13% procedente de fonte eólica e solar.

Igualmente necessário envidar esforços no sentido de aumentar a governança de gastos públicos como recomendado nas melhores práticas internacionais.¹⁶ Estudo recente de Schwartz *et al.* (2020) corrobora a teoria de que países com melhores governanças apresentam uma relação maior entre investimentos públicos (gastos) e crescimento/produtividade (dividendos), induzindo, inclusive, maior participação de investimentos do setor privado (efeito *crowding-in*). A neointustrialização via produtos de hidrogênio verde e PtX deve se basear nessas estruturas de governança, incluindo racionalidade nas políticas de fomento a indústrias nascentes.

4 CONCLUSÃO

Estudos recentes colocam o Brasil em uma posição de destaque competitivo nos derivados de hidrogênio verde; no entanto, retratam uma posição estática, como uma fotografia. Competitividade, por seu turno, é algo dinâmico, envolvendo a interação de múltiplas variáveis, inclusive de caráter institucional e regulatório. É necessário atenção às reformas estruturais, como as endereçadas na agenda de modernização do setor elétrico, que, como visto,

14. A rota com base na produção de energia elétrica renovável (hidrogênio verde) considerada a “verdadeiramente” renovável, uma vez que não produz emissões diretas, pode concorrer com o hidrogênio associado à matriz do petróleo e do gás com captura e armazenamento de carbono (hidrogênio azul), enquadrado na categoria de baixo carbono.

15. Ver Lorentz *et al.* (2023).

16. Ver World Bank (2021), IMF (2022) e OCDE (disponível em: <https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0460>).

podem impactar em muito a competitividade da indústria de hidrogênio verde no Brasil. O desafio consiste em formular políticas públicas que permitam nos valer das nossas inúmeras vantagens comparativas, transformando-as em verdadeiras vantagens competitivas para o desenvolvimento da indústria nascente do hidrogênio verde.

REFERÊNCIAS

ARBACHE, J.; ESTEVES, L. A. Resiliência com eficiência: como o *powershoring* pode colaborar para a descarbonização e o desenvolvimento econômico da América Latina e Caribe. **WebAdvocacy**, 18 abr. 2023. Disponível em: <https://webadvocacy.com.br/2023/04/18/resiliencia-com-eficiencia-como-o-powershoring-pode-colaborar-para-a-descarbonizacao-e-o-desenvolvimento-economico-da-america-latina-e-caribe/>.

HANK, C. *et al.* **Site-specific, comparative analysis for suitable power-to-x pathways and products in developing and emerging countries**. Freiburg im Breisgau: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, 2023. Disponível em: <https://www.isc.fraunhofer.de/en/publications/studies/power-to-x-country-analyses.html>.

IMF – INTERNATIONAL MONETARY FUND. **PIMA Handbook: public investment management assessment**. 1. ed. Washington: IMF, 2022.

IRENA – INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Renewable power generation costs in 2022**. Abu Dhabi: Irena, 2022. Disponível em: <https://www.irena.org/Publications/2023/Aug/Renewable-power-generation-costs-in-2022>.

LORENTZ, B. *et al.* Green hydrogen: energizing the path to net zero. **Deloitte**, 19 jun. 2023. Disponível em: <https://www.deloitte.com/global/en/issues/climate/green-hydrogen.html>.

SCHWARTZ, G. *et al.* **Well spent: how strong infrastructure governance can end waste in public investment**. Washington: IMF, 2020. Disponível em: <https://www.imf.org/en/Publications/Books/Issues/2020/09/03/Well-Spent-How-Strong-Infrastructure-Governance-Can-End-Waste-in-Public-Investment-48603>.

WORLD BANK. **Infrastructure governance – assessment framework**. Washington: World Bank, 2021. Disponível em: <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/96550c14d62154355b6edc367d4d7f33-0080012021/original/Infrastructure-Governance-Assessment-Framework-December-2020.pdf>.

