



POR MAURO BERNI

Pesquisador das áreas de meio ambiente e energia do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (NIPE), da Universidade de Campinas (Unicamp-SP)
E-mail: mberni@unicamp.br

ROTAS TECNOLÓGICAS PARA A PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE

Segundo a *Global Water Intelligence* (GWI) (<https://www.globalwaterintel.com/>), referência mundial no setor de água, a América Latina vive um momento decisivo em termos de sustentabilidade e produção de energia limpa, com rápido crescimento nos mercados de dessalinização, reuso de água e hidrogênio verde (H2V). Especialistas da GWI apontam um aumento sem precedentes na capacidade de dessalinização global nos próximos anos e afirmam que a América Latina não será exceção.

Para o Brasil, as estratégias nacionais de H2V, incluem fontes de água não convencionais em seus planos de acordo com trabalho da pesquisadora Rosana Cavalcante de Oliveira, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Dinte/IPEA), Texto para Discussão 2787 (<http://dx.doi.org/10.38116/td2787>), (2022).

Neste contexto, o reuso de água deverá ganhar força, bem como o etanol, e poderão se tornar soluções-chave para expansão das rotas tecnológicas de produção do H2V. Em nossa opinião, espera-se que o marco regulatório do saneamento promova um número crescente de projetos de reaproveitamento de efluentes em processos industriais e agrícolas, visando reduzir a dependência de fontes convencionais de água e garantir a gestão sustentável dos recursos hídricos no País.

O Brasil desenvolve sua estratégia de H2V e planeja projetos em áreas portuárias industriais, como Pecém e Açú, no Estado do Ceará. Além disso, a Cagece, empresa prestadora de serviços de água potável e saneamento do Ceará, firmou convênio com a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará para o fornecimento de efluentes tratados para a rota tecnológica eletrolítica. No Estado do Rio Grande do Sul está sendo desenvolvido pela *Enterprize Energy* um projeto de H2V que usará água do mar dessalinizada.

Oliveira (2022) afirma que o Brasil tem uma posição de destaque podendo de se tornar um grande exportador de hidrogênio de baixo carbono, por apresentar condições climáticas excelentes e favoráveis para geração de energia elétrica por meio de fontes eólicas, solar e hídricas. Atualmente, a produção de hidrogênio no Brasil está concentrada nos setores de petróleo (refino e indústria) e fertilizantes (amônia), em geral, utilizando processos com alta emissão de CO₂, através da reforma do gás

natural, seguindo tendência mundial da produção do chamado hidrogênio cinza.

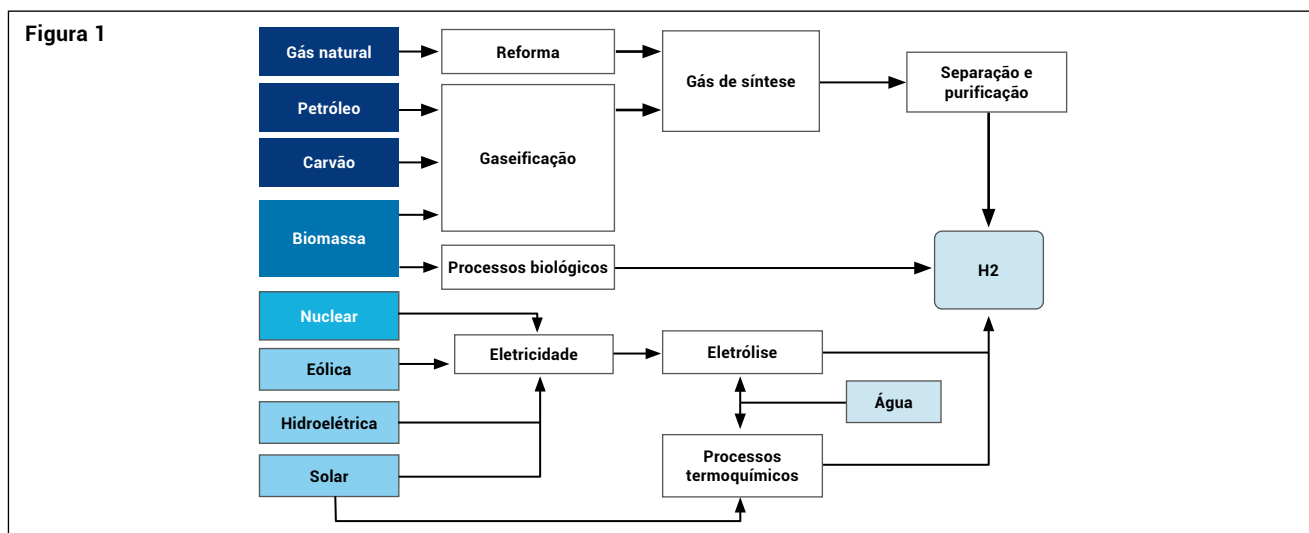
O hidrogênio produzido a partir do gás natural é considerado um hidrogênio cinza, pois há emissão de CO₂ no seu processo de produção. O hidrogênio produzido a partir do gás natural com captura de CO₂ (CCUS) é chamado de hidrogênio azul e, como citado, o hidrogênio produzido a partir da água utilizando fontes renováveis é chamado de H2V.

Em relação ao mercado consumidor do hidrogênio no Brasil, para síntese de produtos e diversos processos e insumos, foram identificados cinco principais setores (Oliveira, 2022): **petroquímico**, para refino de combustíveis; **siderúrgico e metalúrgico**, para redução de ferro gusa e fornos de atmosferas controladas; de **alimentos**, para a hidrogenação de produtos, principalmente margarinas; de **vidros planos**, para o processo de inertização do banho de estanho, de forma a impedir a formação de defeitos no vidro e proteger as câmaras e os equipamentos nos quais o vidro é conformado; e de **geração de energia** (termoelétricas), para refrigeração de turbinas. Além desses, destaca-se o setor de transporte, que abrange carros, ônibus, aviões e navios.

Na **Figura 1** são apresentadas as diferentes “matérias-primas” que podem ser utilizadas para produção de hidrogênio.

As rotas tecnológicas mais comuns de produção de eletricidade a partir do hidrogênio são a reformação e a eletrólise. A primeira funciona por meio da aplicação de altas temperaturas, em que o vapor reage com um combustível hidrocarboneto (gás natural, diesel, carvão etc.). A eletrólise ocorre através de um eletrolisador, que usa uma corrente elétrica para separar a água em hidrogênio e oxigênio.

O hidrogênio também pode ser produzido pela reforma e a gaseificação da biomassa. De acordo com Oliveira (2022), com a redução dos custos da eletricidade renovável, em particular da energia solar fotovoltaica e eólica, o interesse em hidrogênio eletrolítico está crescendo, com vários projetos nos últimos anos. Hoje, a eficiência dos sistemas eletrolisadores varia entre 60% e 81%, dependendo do tipo de tecnologia e do fator de carga, sendo necessários cerca de 9 litros de água para produzir 1 kgH₂, produzindo 8 kg de oxigênio como um subproduto, que em menor escala pode ser utilizado no setor de saúde ou, em maior escala,



Fonte: Oliveira, 2022

para fins industriais. Entretanto, o acesso à água doce pode ser um problema em áreas com escassez de água. Usar água do mar pode se tornar uma alternativa em áreas costeiras.

Atualmente, existem três rotas tecnológicas principais de eletrolisador: eletrólise alcalina, membrana polimérica trocadora de prótons (*proton exchange membrane* – PEM) e células de eletrólise de óxido sólido (SOECs). A eletrólise alcalina é uma tecnologia madura e comercial, caracterizada por custos de capital relativamente baixos em comparação com as demais tecnologias, pois não utiliza materiais preciosos em sua composição, sendo usada desde 1920, em particular para a produção de hidrogênio nas indústrias de fertilizantes e cloro (Oliveira, 2022; Albrecht *et al.*, 2020 disponível: https://www.weltenergie-rat.de/wp-content/uploads/2020/09/WEC_H2_Strategies_finalreport_200922.pdf).

Na rota tecnológica bioquímica, microrganismos trabalham sobre a matéria orgânica (biomassa) para produzir biogás por meio de digestão anaeróbica. Na rota tecnológica termoquímica, a gaseificação converte a biomassa em uma mistura de monóxido de carbono, CO₂, hidrogênio e metano. A digestão anaeróbica para produção de biogás é a tecnologia mais madura, podendo processar lodo de esgoto, agricultura, processar alimentos e resíduos domésticos e algumas culturas energéticas.

A gaseificação pode potencialmente converter a matéria orgânica e, em particular, a componente lignina da biomassa, mas ainda não está totalmente desenvolvida, e o problema da formação de alcatrões que podem causar envenenamento do catalisador não foi totalmente resolvido ainda (IEA, 2019, disponível: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>).

Conforme levantamento de Oliveira (2022), tem-se dois marcos importantes que afetam o setor de hidrogênio brasileiro: Decreto n. 11.075, de 19 de maio de 2022, criando o mercado regulado de carbono, com foco em exportação de créditos, especialmente para países e empresas que precisam compensar

emissões para cumprir com seus compromissos de neutralidade de carbono; e Projeto de Lei (PL) n. 725/2022, que inclui o hidrogênio como fonte energética na matriz brasileira e estabelece metas para a sua inserção nos gasodutos nacionais, sendo adicionado até 2032 o percentual mínimo de 5% de hidrogênio na rede de gasodutos, e 10% até 2050.

As produções de energia eólica e de solar podem ser complementares de forma a reduzir os custos na operação dos eletrolisadores. O potencial de geração de energia renovável e sua localização próxima a portos estratégicos estimula a criação de *hubs* de inovação em hidrogênio, que visam contribuir para o desenvolvimento do mercado e da tecnologia para indústria nacional e ser referência internacional e uma plataforma de acesso para outros países. Todavia, dois fatores devem fazer parte do planejamento energético e hídrico do País no médio e longo prazo em um cenário de produção massiva de H₂V no Brasil: segurança hídrica e as possibilidades de se produzir H₂V com a reforma do etanol.

A obtenção do hidrogênio a partir do etanol pode ser da reforma-vapor, na qual este composto reage quimicamente com a água, produzindo uma mistura gasosa cujo componente principal é o hidrogênio. Uma vez disponível, esse hidrogênio pode ser utilizado energeticamente em motores de combustão interna, turbinas a gás e células a combustível (CAC). Este último dispositivo é um reator eletroquímico que converte o hidrogênio e o oxigênio do ar em eletricidade, calor e água, com elevada eficiência de conversão. A energia elétrica produzida nas células a combustível pode ser empregada para uso veicular, caracterizando-se como uma forma alternativa do uso do etanol em veículos de passeio. Pode ser empregada também em aplicações aonde o etanol não vem sendo utilizado diretamente, como veículos pesados (ônibus e de carga) e geração distribuída de eletricidade (sistemas isolados e rurais, sistemas complementares à rede elétrica). ■