



ELETORREFINARIA “DOS RESÍDUOS AOS RECURSOS”: Eletrolisadores para produção de H₂ verde, compostos de valor agregado

Kauã DETELI¹; Paula P. da SILVA²; Kaique S. G. C. OLIVEIRA³.

RESUMO

A pesquisa sobre eletrolisadores para a produção de hidrogênio verde vem atraindo muita atenção e revelando os avanços na eficiência e na viabilidade econômica desse processo. A substituição da Reação de Evolução de Oxigênio (REO) por reações anódicas mais favoráveis e o desenvolvimento de novos electrocatalisadores têm o potencial de melhorar a eficiência e reduzir os custos operacionais. A literatura também mostra que sistemas híbridos e células fotoeletroquímicas podem otimizar o processo, aproveitando fontes renováveis de energia. No entanto, desafios como a complexidade na purificação dos produtos e o consumo energético do processo ainda precisam ser superados. Além disso, a literatura indica que a integração de novas tecnologias e a colaboração entre academia e indústria são essenciais para tornar o hidrogênio verde uma alternativa viável aos combustíveis fósseis.

Palavras-chave:

Eletrolisador; Electrocatálisador; H₂ verde; Eficiência energética; Energia renovável.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a busca por soluções sustentáveis para mitigar as mudanças climáticas tem intensificado os esforços para substituir combustíveis fósseis por alternativas renováveis. O hidrogênio verde, produzido pela eletrólise da água utilizando energia renovável, surge como uma solução promissora para reduzir as emissões de dióxido de carbono associadas a processos industriais, como a produção de amônia e aço (FRANCO, 2023). Este estudo visa explorar as inovações em técnicas eletroquímicas e fotoeletroquímicas, avaliando a viabilidade econômica dessas abordagens na produção de hidrogênio verde.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A produção de hidrogênio verde por meio de eletrolisadores tem emergido como uma solução promissora para enfrentar os desafios ambientais associados ao uso de combustíveis fósseis. A eletrólise da água, que decompõe moléculas de H₂O em H₂ e O₂ utilizando energia elétrica, é uma técnica bem estabelecida, mas que depende da eficiência dos eletrolisadores para se tornar economicamente viável. A reforma a vapor do metano é o método mais convencional para a produção de hidrogênio e consiste na reação do metano com vapor de água a altas temperaturas (800-1000°C) na presença de um catalisador. A principal reação envolvida é: $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{CO}(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$. Esse processo gera H₂ e grandes quantidades de CO₂ como subprodutos (de 7 a 10 kg de CO₂ são liberados para cada 1kg de H₂ produzido), o que classifica o hidrogênio produzido por esse método

¹Discente do curso de Bacharelado em Engenharia Química, IFSULDEMINAS – Campus Pouso Alegre. E-mail: kaua.deteli@alunos.ifsuldeminas.edu.br

²Discente do curso de Bacharelado em Engenharia Química, IFSULDEMINAS – Campus Pouso Alegre. E-mail: paula.silva@alunos.ifsuldeminas.edu.br

³Professor orientador do curso de Bacharelado em Engenharia Química, IFSULDEMINAS – Campus Pouso Alegre. E-mail: kaiquesg.eq@gmail.com

como “hidrogênio cinza” (KIRK-OTHMER, 1999). Quando tecnologias de captura e armazenamento de carbono são empregadas para reduzir as emissões de CO₂, o hidrogênio produzido é denominado “hidrogênio azul”. Em contraste, o “hidrogênio verde” é produzido a partir de fontes de energia renovável e não gera emissões de CO₂ no processo, sendo uma alternativa sustentável ao hidrogênio cinza e azul (Barelli, 2008).

O processo de eletrólise envolve duas reações principais. No ânodo, ocorre a reação de evolução de oxigênio (REO), em que os elétrons fornecidos pelo eletrodo reduzem os íons H⁺ presentes na solução, gerando hidrogênio gasoso e íons hidróxidos (HO⁻), conforme a equação: $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{HO}^-(\text{aq})$. Simultaneamente, no cátodo, ocorre a reação de evolução de hidrogênio (REH), onde a água é oxidada, liberando oxigênio gasoso e elétrons que retornam ao circuito elétrico: $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{O}_2(\text{g}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 4\text{e}^-$.

Como alternativa, estratégias inovadoras têm sido investigadas, como a substituição da REO por reações de oxidação mais favoráveis, que podem reduzir os sobrepotenciais e melhorar a eficiência do processo de eletrólise. Um exemplo é a oxidação de compostos orgânicos, como o metanol ou a ureia, que resultam em cinéticas de reação mais rápidas, diminuindo seus sobrepotenciais (Zeng et al., 2020). Outra abordagem envolve o uso de eletrólitos avançados, como líquidos iônicos e eletrocatalisadores de metais de transição, que aumentam a eficiência do processo, reduzindo as barreiras cinéticas na REO (Zhao et al., 2022).

Ademais, o conceito de economia circular, no qual resíduos são convertidos em recursos, tem ganhado destaque. A eletrorefinaria, por exemplo, utiliza o tratamento de efluentes para realizar a oxidação de poluentes orgânicos ou inorgânicos, gerando hidrogênio enquanto trata resíduos industriais. A eletroxidação pode diminuir a toxicidade dos compostos orgânicos, mineralizá-los, ou ainda levar à produção de compostos intermediários de interesse comercial, como os ácidos carboxílicos, por exemplo. A oxidação de compostos em efluentes, como amônia e glicose, não só reduz as emissões e o consumo de energia, como também transforma esses resíduos em recursos úteis (Wei et al., 2021).

Além disso, o uso de energia solar em células fotoeletroquímicas (PEC) representa uma oportunidade de reduzir ainda mais os custos energéticos, aproveitando fontes renováveis para alimentar o processo de eletrólise. Estas células combinam processos fotoquímicos e eletroquímicos, permitindo que a energia solar absorvida por um fotoeletrodo seja usada diretamente para dividir a água em hidrogênio e oxigênio, eliminando a necessidade de eletricidade externa e potencialmente reduzindo os custos de produção de hidrogênio verde (Bessegato et al., 2015).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho adota uma abordagem teórica com revisão crítica da literatura sobre os avanços

em eletrocatalisadores para a produção de hidrogênio verde e reações anódicas de interesse, caracterizando os chamados processos “híbridos-integrados”. A metodologia inclui:

1. Revisão da Literatura: Busca sistemática em bases de dados como Web of Science, Scopus e Google Scholar para identificar inovações nos últimos 10 anos em: a) Reações anódicas alternativas à REO, avaliando sua eficiência, custo, e compatibilidade com a REH; b) Novos materiais eletrocatalisadores para produção de H₂, com foco na sua atividade catalítica, custo e estabilidade e c) Uso de células PEC na eletrólise, integrando energia solar ao processo.
2. Critérios de Seleção: Os estudos foram selecionados com base na relevância, dados específicos sobre desempenho catalítico e viabilidade econômica das tecnologias analisadas.
3. Análise Crítica: Avaliação dos dados coletados com foco na eficiência das reações anódicas e catódicas, custo dos eletrocatalisadores para a produção de H₂ e impacto na viabilidade econômica da eletrólise.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os avanços na tecnologia de eletrolisadores para produção de hidrogênio verde têm demonstrado melhorias significativas em eficiência e viabilidade econômica. A substituição da REO por reações de interesse surge como uma abordagem promissora para melhorar a eficiência dos eletrolisadores e agregar valor ao processo de produção de hidrogênio verde. Reações de oxidação alternativas, como a oxidação de compostos orgânicos, não apenas reduzem o sobrepotencial necessário para a eletrólise, mas também geram subprodutos de valor agregado, compensando os custos de operação e contribuindo para a viabilidade econômica do processo (Ampelli et al., 2011).

A pesquisa também destacou o progresso no desenvolvimento de novos eletrocatalisadores, com materiais inovadores mostrando um potencial considerável para melhorar tanto a atividade catalítica quanto a durabilidade, o que pode diminuir os custos associados ao processo de eletrólise (XU et al., 2023). Além disso, a investigação sobre reações de oxidação anódica de alto valor sugere que essas reações podem substituir a REO, contribuindo para a redução dos custos e o aumento da eficiência dos sistemas de eletrólise (ZHANG et al., 2023). No entanto, a necessidade de otimização dos mecanismos catalíticos indica que mais pesquisas são essenciais para validar essas abordagens em condições práticas (LAN et al., 2020).

5. CONCLUSÃO

Este trabalho destaca que a produção de hidrogênio verde por eletrolisadores pode se tornar uma alternativa viável aos combustíveis fósseis, especialmente com o avanço de tecnologias que aumentam a eficiência e reduzem os custos operacionais do processo. Sistemas híbridos-integrados, oferecem soluções inovadoras que promovem um processo de eletrólise mais eficiente e sustentável,

contribuindo para a viabilidade econômica e ambiental das tecnologias de eletrólise.

Apesar dos avanços, desafios remanescentes, como a baixa seletividade e a complexidade na purificação, indicam a necessidade de mais estudos experimentais. Para futuras pesquisas, é crucial focar na otimização de sistemas híbridos-integrados e no desenvolvimento de novos eletrocatalisadores, visando a validação prática dessas tecnologias e o aumento de sua eficiência.

REFERÊNCIAS

AMPELLI, C.; PASSALACQUA, R.; PERATHONER, S.; CENTI, G. Development of a TiO₂ nanotube array-based photo-reactor for H₂ production by water splitting. **Chemical Engineering Transactions**, v. 24, p. 187–192, 2011.

BARELLI, L.; BIDINI, G.;SERVILIS, S. Hydrogen production through sorption-enhanced steam methane reforming and membrane technology: A review. **Energy** (Oxford, England), v. 33, n. 4, p. 554–570, 2008.

BESSEGATO, G. G.; GUARALDO, T. T.; DE BRITO, J. F.; BRUGNERA, M. F.; ZANONI, M. V. B. Achievements and trends in photoelectrocatalysis: From environmental to energy applications. **Electrocatalysis**, v. 6, p. 415–441, 2015.

Franco, A.; Giovannini, C. Recent and Future Advances in Water Electrolysis for Green Hydrogen Generation: Critical Analysis and Perspectives. **Sustainability**, 2023.

KIRK-OTHMER, X. **Concise encyclopedia of chemical technology**. v. 12. 4. ed. New York: Wiley, p. 950, 1999.

LAN, J.; PENG, M.; CHEN, D.; XU, X.; LUO, M.; TAN, Y.; CHEN, M.. Scalable synthesis of nanoporous boron for high efficiency ammonia electrosynthesis. **Materials Today**, v. 38, p. 58–66, set. 2020.

WEI, L.; FENG, Y.; CHENG, H. Circular economy in hydrogen production: Electrolysis coupled with wastewater treatment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 143, 2021.

XU, M.; WEI, D.; DOU, C.; ZHENG, X.; SHI, Y.; LI, X.; ZHANG, J.; ZHANG, Q. Stretchable elastomer based on viscous sensing fluid with a positive piezoconductive effect. **Materials Today Energy**, v. 32, p. 101249, mar. 2023.

ZENG, X.; WANG, J.; LI, Y. Methanol oxidation as a more favorable reaction to replace OER in water electrolysis. **Journal of Power Sources**, v. 479, p. 229033, 2020.

ZHANG, T.; SONG, Z.; ZHANG, J.; JIANG, W.; MAO, R.; LI, B.; LIU, S.; JIAN, X.; HU, F. A semi-immobilized sulfur-rich copolymer backbone with conciliatory polymer skeleton and conductive substrates for high-performance Li-S batteries. **Journal of Energy Chemistry**, v. 81, p. 510–518, 2023.

ZHAO, X.; CHEN, H.; TANG, Y. Advanced electrolytes and electrocatalysts for efficient oxygen evolution reaction. **ACS Catalysis**, v. 12, n. 6, p. 3497–3510, 2022.