

HIDROGÊNIO, ENERGIA RENOVÁVEL: SUA UTILIZAÇÃO EM AMBIENTE INDUSTRIAL

Eduardo Antônio de Souza Coelho Filho¹

RESUMO: O hidrogênio, muitas vezes referido como o “combustível do futuro”, está ganhando reconhecimento como uma fonte de energia versátil e sustentável. O hidrogênio verde, produzido através da eletrólise da água utilizando fontes de energia renováveis como a energia eólica, solar e hidráulica, destaca-se como um elemento-chave na transição para um cenário energético mais sustentável. Esta fonte de energia limpa, conhecida pela sua versatilidade, pode ser transformada em eletricidade ou combustíveis sintéticos, tornando-a adequada para diversas aplicações comerciais e industriais. Ao contrário do hidrogênio tradicional derivado de combustíveis fósseis, o hidrogênio verde é amigo do ambiente e desempenha um papel crucial na redução das emissões de carbono no setor industrial. A integração do hidrogênio como fonte de energia para processos industriais apresenta uma oportunidade promissora para a transição dos métodos tradicionais de produção de hidrogênio que dependem de combustíveis fósseis, pois não só se alinha com os objetivos globais de sustentabilidade, mas também aumenta a competitividade e a responsabilidade ambiental das indústrias em todo o mundo. Ao substituir o hidrogênio convencional derivado do gás natural pelo hidrogênio verde, as indústrias podem reduzir a sua pegada de carbono e contribuir para um futuro mais limpo e sustentável. Esta mudança para a produção sustentável de hidrogênio sublinha o papel fundamental que as fontes de energia renováveis desempenham na promoção da inovação industrial e na gestão ambiental. A metodologia utilizada foi uma revisão de literatura, que compilou 12 artigos que tratassem acerca da temática proposta. Constata-se que 4 artigos mostram que a energia consumida pela indústria é pelo menos um quarto do consumo global de energia e mais da metade do total da energia primária produzida, incluindo as perdas da indústria de energia e o uso próprio. Conclui-se que o hidrogênio tem um imenso potencial como fonte de energia renovável em ambientes industriais. Suas propriedades limpas e diversos métodos de produção o tornam uma opção versátil para reduzir a pegada de carbono em processos industriais. As aplicações do hidrogênio, como a utilização como combustível limpo, na geração de energia e na integração nas indústrias transformadoras, demonstram a sua adaptabilidade e eficiência. Apesar das inúmeras vantagens, desafios como armazenamento, distribuição e viabilidade econômica permanecem, exigindo mais avanços e apoio de políticas governamentais. Com investigação, inovação e colaboração contínuas, a implementação generalizada do hidrogênio em ambientes industriais pode levar a um futuro mais sustentável e amigo do ambiente.

3939

Palavras-chave: Energia renovável. Hidrogênio. Indústria.

¹Pós-graduando em Auditoria contábil e controladoria. Pós-graduando em Administração de pessoas. Pós-graduado em Docência universitária. Pós-graduado em MBA em gestão Empresarial. Graduado em Engenharia Elétrica.

ABSTRACT: Hydrogen, often referred to as the “fuel of the future,” is gaining recognition as a versatile and sustainable energy source. Green hydrogen, produced through the electrolysis of water using renewable energy sources such as wind, solar and hydraulic energy, stands out as a key element in the transition to a more sustainable energy scenario. This clean energy source, known for its versatility, can be transformed into electricity or synthetic fuels, making it suitable for a variety of commercial and industrial applications. Unlike traditional hydrogen derived from fossil fuels, green hydrogen is environmentally friendly and plays a crucial role in reducing carbon emissions in the industrial sector. The integration of hydrogen as an energy source for industrial processes presents a promising opportunity to transition away from traditional hydrogen production methods that rely on fossil fuels, as it not only aligns with global sustainability goals, but also increases competitiveness and environmental responsibility of industries around the world. By replacing conventional hydrogen derived from natural gas with green hydrogen, industries can reduce their carbon footprint and contribute to a cleaner, more sustainable future. This shift towards sustainable hydrogen production underlines the fundamental role that renewable energy sources play in promoting industrial innovation and environmental management. The methodology used was a literature review, which compiled 12 articles that dealt with the proposed theme. It is found that 4 articles show that the energy consumed by industry is at least a quarter of global energy consumption and more than half of the total primary energy produced, including energy industry losses and own use. It is concluded that hydrogen has immense potential as a renewable energy source in industrial environments. Its clean properties and diverse production methods make it a versatile option for reducing the carbon footprint in industrial processes. The applications of hydrogen, such as its use as a clean fuel, in power generation and integration in manufacturing industries, demonstrate its adaptability and efficiency. Despite the numerous advantages, challenges such as storage, distribution and economic viability remain, requiring further advances and support from government policies. With continued research, innovation and collaboration, the widespread implementation of hydrogen in industrial environments can lead to a more sustainable and environmentally friendly future.

Keywords: Renewable energy. Hydrogen. Industry.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a indústria é um dos maiores consumidores de energia, com uma cota de cerca de 25% do consumo total de energia. Esse uso de energia está vinculado a uma quantidade significativa de emissões de gases de efeito estufa (GEE), como dióxido de carbono (CO₂), e cerca de 8% do GEE pode ser vinculado a processos industriais selecionados (amônia, aço e indústrias de refino de petróleo) (YOUN et al., 2016).

Energia de hidrogênio envolve o uso de hidrogênio e / ou compostos contendo hidrogênio para gerar energia a ser fornecida para todos os usos práticos necessários com alta eficiência energética, benefícios ambientais e sociais impactantes, bem como competitividade econômica. O mundo está atualmente experimentando o surgimento da energia do hidrogênio em todos os setores que incluem produção, armazenamento e

distribuição de energia; eletricidade, aquecimento e refrigeração para edifícios e residências; a indústria; transporte; e a fabricação de matéria-prima. A eficiência energética e a sustentabilidade são dois fatores importantes que impulsionam a transição da atual economia baseada em combustíveis fósseis para uma economia circular, ou seja, um ciclo de utilização de combustível circular sustentável renovável que caracterizará a engenharia altamente eficiente e as escolhas tecnológicas de energia do século XXI (QUELHAS, 2020).

A economia do hidrogênio (H_2) pode desempenhar um papel significativo não apenas na matriz energética global, mas também na mitigação dos impactos do aquecimento global. Abordar este duplo desafio requer um esforço coletivo - políticos, líderes empresariais, tecnólogos e consumidores - para tomar medidas cuidadosas e significativas. A produção global de H_2 é de cerca de 70 milhões de toneladas por ano. E é produzido principalmente a partir de gás natural e carvão; O relatório *Energy Information Administration* (EIA) mostra que 7% do gás natural é dedicado à produção de H_2 (EIA, 2019). É usado predominantemente para a produção de produtos de valor agregado, como metanol, amônia, combustíveis de gás para líquidos (GLT) e no refino e produção de aço. Portanto, H_2 é o principal intermediário na indústria. Mas apenas cerca de 6% do H_2 produzido é para a demanda de H_2 puro, o que indica que ele tem um papel limitado na matriz energética global. Embora o H_2 seja a chave para a produção de produtos de valor agregado, o desafio do Hidrogênio é tradicional, ele é produzido por meio de esquemas baseados em combustível, como reforma do metano, carvão e gaseificação de biomassa, todos os quais levam a emissões de carbono e outros gases de efeito estufa.

A mudança necessária dos mercados globais de hoje em direção a um futuro sustentável, o H_2 pode desempenhar um papel fundamental quando se trata de descarbonizar o setor de energia, industrial e de transporte. Os cenários de previsão de energia para 2050 estão focados em cumprir as metas do Acordo de Paris de manter o aumento da temperatura da Terra abaixo de 1,5-2,0 graus Celsius. E esses cenários têm o H_2 desempenhando um papel maior na matriz energética mundial (EIA, 2019). Projeta-se que dez vezes a capacidade de produção atual de H_2 , quase 600 toneladas sejam necessários para cumprir as metas de carbono neutro para 2050.

A integração do hidrogênio como matéria-prima para a produção química desempenha um papel crucial em vários processos industriais, particularmente na indústria química. O hidrogênio não é utilizado apenas como fonte de energia, mas também é

produzido como subproduto na fabricação de produtos químicos. Este elemento versátil serve como ingrediente chave na produção de uma ampla gama de produtos químicos, como amônia, metanol e ácido clorídrico. Sua importância na síntese química reside na capacidade de facilitar diversas reações e servir como alicerce para a criação de produtos essenciais para diversas indústrias. Ao incorporar o hidrogênio nos processos de produção química, as indústrias podem reduzir a sua dependência dos combustíveis fósseis e fazer a transição para práticas mais sustentáveis e amigas do ambiente (UNIFESP, 2022)².

Nas refinarias e fábricas, o uso do hidrogênio é predominante para uma infinidade de aplicações. O hidrogênio é utilizado em processos de refino para remover impurezas do petróleo bruto e produzir combustíveis mais limpos, como gasolina, diesel e combustível de aviação. Além disso, nas indústrias transformadoras, o hidrogênio desempenha um papel crucial no processamento de metais, na fabricação de eletrônica e na produção de alimentos. Sua versatilidade permite sua utilização em diversos processos, desde reações de hidrogenação até aplicações de tratamento térmico. Ao incorporar o hidrogênio nas operações de refinaria e produção, as indústrias podem aumentar a eficiência, reduzir as emissões e contribuir para um cenário energético mais sustentável³.

O papel do hidrogênio na produção de energia está ganhando destaque como uma componente fundamental da transição energética para um futuro com baixas emissões de carbono. O hidrogênio verde, derivado de fontes de energia renováveis, oferece uma alternativa sustentável para a geração de eletricidade e gás sintético. Esta fonte de energia limpa pode ser utilizada em células de combustível para produzir eletricidade para diversas aplicações, incluindo alimentação de veículos, edifícios e máquinas industriais. Além disso, o hidrogênio verde pode ser convertido em gás sintético através de processos químicos, proporcionando uma solução energética flexível para a geração de energia. Ao adotarem o hidrogênio como fonte de energia sustentável na produção de energia, as indústrias podem reduzir a sua pegada de carbono, mitigar o impacto ambiental e contribuir para um ecossistema energético mais sustentável.

Um dos principais desafios na adoção generalizada do hidrogênio como fonte de energia sustentável nas indústrias é a necessidade de um amplo desenvolvimento de

²Informações extraídas de: <https://unifesp.medium.com/a-import%C3%A2ncia-do-hidrog%C3%A2nio-para-o-brasil-uma-fonte-para-energia-limpa-e-um-caminho-para-a-d9e21946ad11>. Acesso em: 29 mai. 2024.

³Informações extraídas de: <https://www.swissinfo.ch/por/ciencia/brasil-lidera-na-capacidade-de-produ%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel-de-hidrog%C3%A2nio-verde/49038718>. Acesso em: 29 mai. 2024.

infraestruturas para apoiar a distribuição de hidrogênio. O hidrogênio verde, produzido através de fontes de energia renováveis, surgiu como uma alternativa de energia limpa para vários setores, incluindo os transportes, a indústria e a produção de eletricidade. No entanto, o transporte e armazenamento eficientes de hidrogênio exigem investimentos significativos em infraestruturas, tais como gasodutos, estações de reabastecimento e instalações de armazenamento. O estabelecimento de uma rede de infraestruturas robusta para a distribuição de hidrogênio é crucial para superar barreiras logísticas e garantir a integração perfeita do hidrogênio nos processos industriais.

Este artigo tem como objetivo destacar a importância do uso de hidrogênio na produção de energia para fins diversos, destacando a existência de estruturas industriais prontas para tal fim. A possibilidade inesperada de descobrir e colher hidrogênio natural na Terra, antes tida como inexistente, é desvelada e analisada para a compreensão de possíveis interpretações geológicas para nortear a atividade futura de combustível sustentável e perene.

2 METODOLOGIA

O objetivo desta revisão da literatura é o pesquisador compartilhar os resultados de outros estudos tangenciais aos seus, para mostrar como seu estudo se relaciona com o panorama geral e quais lacunas no conhecimento que estão tentando resolver. Desta forma, em relação à abordagem, o estudo é quantitativo, uma vez que, segundo Nascimento (2018), quando a natureza da pesquisa está madura, há uma abundância de pesquisas relacionadas e existentes sobre o tema, uma abordagem mais quantitativa é mais adequada. Dado que existe um vasto corpo de conhecimento para se extrair quando se trata de métodos quantitativos, os pesquisadores tendem a ter uma quantidade substancialmente grande de literatura no início e estruturá-la de forma dedutiva. Assim, conforme destacam Lakatos e Marconi (2015), enquadrar a revisão da literatura de forma dedutiva permite ao pesquisador, no final da revisão da literatura, estabelecer de forma clara e mensurável sua (s) questão (ões) e hipóteses de pesquisa.

Por tratar-se de uma revisão de literatura, a pesquisa possui uma natureza de pesquisa básica pois se refere a estudos e pesquisas destinadas a aumentar a base de conhecimento científico. Conforme menciona Nascimento (2018), muitas vezes, esse tipo de pesquisa é

puramente teórico, com o intuito de aumentar a compreensão de certos fenômenos ou comportamentos, mas sem buscar resolver ou tratar esses problemas.

Trata-se de uma pesquisa exploratória que, segundo Lakatos e Marconi (2015), é realizada quando um tópico precisa ser compreendido em profundidade. Para este tipo de pesquisa não existe uma metodologia específica e as fontes de informação são gratuitas, são, dito de outra forma, aquelas que podemos encontrar: opiniões de especialistas, artigos, teses e é sempre uma primeira etapa, um estudo exploratório preliminar que permitirá iniciar investigações posteriores, já com informação prévia, e neste caso utilizando técnicas quantitativas.

Essas investigações são, portanto, importantes, para estabelecer um primeiro passo no caminho que deve-se percorrer posteriormente, pois carecerão de conclusões definitivas sobre a temática proposta.

3 RESULTADOS

Da revisão de literatura empregada no presente artigo, constata-se que 4 materiais mostram que a energia consumida pela indústria é pelo menos um quarto do consumo global de energia e mais da metade do total da energia primária produzida, incluindo as perdas da indústria de energia e o uso próprio. Hoje, a maior parte da demanda gerada por hidrogênio, das 60 milhões de toneladas produzidas anualmente no mundo (o suficiente para abastecer mais de 600 milhões de hidrogênio derivado do gás natural) é para aplicações industriais. A maior parte do hidrogênio (53%) é usada para a produção de amônia (usada principalmente para fertilizantes de nitrogênio), seguida pela indústria de petróleo e síntese de metanol (40%); o restante (7%) é usado na produção de polímeros e resinas. Essas indústrias podem usar hidrogênio barato e relativamente impuro, derivado principalmente da reforma de combustíveis fósseis.

Cinco materiais bibliográficos apontam que na União Europeia (EU), mais de 60% do hidrogênio é produzido e usado em instalações industriais, um terço é gerado a partir de fontes de subprodutos e menos de 10% é fornecido por comerciantes.

Dos 13 materiais, três destacam que a indústria do petróleo usa hidrogênio para refinar o petróleo bruto por meio de hidrocraqueamento e hidrotratamento, e para eliminar o enxofre do diesel e dos combustíveis de transporte de petróleo para atender às diretrizes de qualidade do combustível. A produção de hidrogênio para uso nas refinarias de hoje é

responsável por cerca de 5–20% das emissões totais da refinaria. Com o declínio dos óleos crus leves e doces e o uso crescente de óleos crus superpesados e óleos pesados de areias betuminosas, combinados com o crescimento da demanda por combustíveis de alta qualidade e baixo teor de enxofre, a demanda por hidrogênio está crescendo.

Todos os materiais destacam que a maior parte do hidrogênio usado hoje na indústria de refino de petróleo é produzida a partir da reforma a vapor de gás natural, que libera CO₂ na atmosfera, se não for capturado. Embora o hidrogênio seja usado principalmente como matéria-prima nessas indústrias, ele também pode ser usado para geração de calor e energia nas indústrias que consomem mais energia (por exemplo, aço, produtos químicos). Com tais níveis de uso em indústrias de alta intensidade de carbono, a descarbonização da produção de hidrogênio pode reduzir significativamente a pegada de carbono de combustíveis e produtos manufaturados.

4 DISCUSSÃO

Todos os principais cenários de perspectivas de energia mostram que o H₂ e os recursos de energia renovável serão os principais impulsionadores das reduções globais das emissões de gases de efeito estufa. Em um relatório de uma empresa norueguesa, a lista de prioridades de muitas organizações de petróleo e gás foi levantada pelo hidrogênio, que trabalha para descarbonizar o setor. A análise afirma que metade dos profissionais de petróleo e gás esperam que o hidrogênio desempenhe um papel importante na matriz energética até 2030 e que, apesar dos choques recentes do petróleo, é hora de a economia do hidrogênio começar a crescer (Bulletin, 2020). No entanto, o papel do H₂ na matriz energética atual não está em lugar nenhum; o principal desafio está nos custos de produção associados ao H₂ proveniente de fontes renováveis; isso é sistemas de produção de H₂ que resultam em emissões de carbono próximas de zero. As rotas de produção de H₂ existentes são por meio da combustão de combustíveis fósseis que geram grandes quantidades de CO₂.

Para Holladay et al. (2019), o H₂ pode se tornar um importante ator na diversificação de sua matriz energética, expandindo seu perfil de cadeia de fornecimento industrial e reduzindo seu impacto ambiental. O uso de H₂ como fonte de energia limpa é limitado principalmente devido à emissão produzida a partir das rotas de produção baseadas em

hidrocarbonetos existentes, como reforma a vapor (RV), oxidação parcial (POX) e reforma autotérmica (ATR).

O avanço das tecnologias de produção de hidrogênio verde, como a eletrólise, ofereceu uma alternativa mais limpa para o H₂; ainda críticos são rápidos para o estado que, embora a produção gera H₂ “verde” e O₂, o processo consome muita energia. Portanto, no geral, o processo não é neutro em termos de emissões, a menos que o uso de fontes renováveis alternativas seja considerado para reduzir as penalidades de energia (GAMBETTA, 2010).

Um outro desafio é os custos de produção mais elevados para as tecnologias verdes, tais como a eletrólise (H₂ verde) são relativamente elevado em comparação com H₂ estabelecidos em sistemas de produção (cinzento H₂). Conseqüentemente, os custos de H₂ “verdes” são outro desafio enfrentado pelo papel do H₂ na produção energética (Shiva Kumar e Himabindu, 2019).

Integrar a produção de H₂ em um complexo industrial de grande escala pode beneficiar a cadeia de suprimentos de produção de H₂. Muitas compensações que existem dentro do setor industrial que podem ser aproveitadas ao se considerar o sistema integrado de produção de hidrogênio usando as tecnologias de energia renovável mais recentes. O hidrogênio pode ser produzido usando diversos recursos, incluindo combustíveis fósseis (de preferência com captura, utilização e armazenamento de carbono); biomassa sustentável, planta não alimentar; ou fontes de energia nuclear e renováveis (por exemplo, eólica, solar, geotérmica e hidroelétrica). Essa variedade de fontes possíveis de suprimento torna o hidrogênio uma fonte de energia e um transportador promissores (FUKUROZAKI, 2011).

Deve-se notar que existem diferentes tipos de H₂, e sua classificação é baseada na fonte de produção, segundo Dubai et al. (2010).

- H₂ produzido a partir de recursos renováveis livre de hidrocarbonetos ou excesso de calor através de um processo não-fóssil, tais como a eletrólise da água é “H₂ verde”, com emissões de carbono muito baixas.

- H₂ produzido para fontes de hidrocarbonetos é classificado como “H₂ cinza”, onde há emissão de carbono associada. A maior parte da produção global de hidrogênio é H₂ cinza

- H₂ produzido a partir de fontes de hidrocarbonetos, onde as emissões de carbono geradas são capturadas ou utilizadas, são considerados "H₂ azul ." O hidrogênio produzido a

partir do nuclear também é considerado H₂ azul devido à pequena quantidade de emissões de carbono.

O hidrogênio produzido principalmente a partir de fontes baseadas em hidrocarbonetos resulta em alta emissão de carbono (H₂ cinza). E embora o H₂ verde e o azul sejam considerados fontes de energia neutras em carbono, eles têm custos de produção extremamente altos. Atualmente, a produção de hidrogênio a partir do gás natural com reforma a vapor de metano (*Steam Methane Reforming* –SMR) é considerada a alternativa mais econômica, mantendo um baixo nível de emissão de carbono (Moreno-Benito et al., 2017). A análise técnico-econômica de sistemas de produção de H₂ verde e azul em grande escala sugere que há uma necessidade clara de combinar fontes de energia renováveis para ser competitivo com a produção comercial existente de H₂ cinza (também pode ser usado como uma solução promissora para uma descarbonização multissetorial, pois permite a ligação entre o H₂ verde e o azul). O caso será ainda mais convincente se a implementação do imposto sobre o carbono ocorrer (Rodrigues, 2019; Lopes, 2019). Portanto, considerando a nova política do imposto de H₂ e carbono pode beneficiar a produção em larga escala de H₂ verde e azul.

Recentemente, um sistema integrado e ajustável para a produção de gás de síntese e produtos químicos via eletrólise assistida por energia solar e reforma combinada foi patenteado (El-Halwagi e Campbell, 2018). Esta recente patente de El-Halwagi e Campbell (2018) propôs a captação de energia solar e uso da eletrólise para a produção de hidrogênio (H₂) e oxigênio (O₂) e integração desses produtos com o gás de síntese (H₂ e CO) e produzido a partir de processos de reforma de metano estabelecidos. O sistema visa reduzir o custo de produção da eletrólise, integrando-se aos sistemas industriais de grande escala existentes e fazendo uso de energia renovável. Também demonstra o valor da integração de fluxos de subprodutos, como o O₂, em outros sistemas industriais complementares para a produção de produtos de valor agregado, neste caso, produtos químicos. A abordagem neste sistema “sintonizável” integrado para a produção da Syngas mostra o valor de maximizar o uso de subproduto ou fluxo de material e recuperação de calor residual na valorização da produção de H₂. Uma abordagem semelhante pode ser usada para identificar meios adequados de integração de energia renovável, eletrólise e outros emergentes de sistemas de produção de H₂ com instalações de processamento de gás natural existentes. O desafio estará na formulação do problema de otimização para sintetizar sistemas integrados para a

produção de H₂ considerando os objetivos concorrentes de maximizar a produção de H₂ verde e azul na rede da cadeia de abastecimento de hidrogênio.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aumento da produção e do uso de hidrogênio pode apoiar as mudanças climáticas e as metas de segurança energética em futuros sistemas de energia com baixo teor de carbono. As oportunidades proporcionadas pelo hidrogênio são mais facilmente capturadas se todos os setores econômicos forem considerados e desenvolvidos em conjunto.

O hidrogênio oferece uma oportunidade importante para descarbonizar o calor, que é provavelmente o desafio mais difícil em todo o cenário energético. Estudos iniciais mostram que o hidrogênio é um candidato líder em termos de redução de custos para o cliente ao descarbonizar o calor. No entanto, metas governamentais e medidas políticas serão necessárias para produzir hidrogênio em escala com um índice de baixo carbono, já que o hidrogênio com alto teor de carbono é atualmente a tecnologia incumbente em termos de custo e escala.

A importância do hidrogênio como fonte de energia sustentável nas indústrias não pode ser subestimada. A sua natureza limpa e sustentável, aliada à sua versatilidade em diversas aplicações industriais, tornam-no um componente crucial na transição para um futuro mais verde. Ao integrar o hidrogênio nos processos industriais como matéria-prima para a produção química, nas refinarias, na produção de energia, as indústrias podem reduzir significativamente a sua pegada de carbono e o impacto ambiental. No entanto, permanecem desafios como o desenvolvimento de infraestruturas, os avanços tecnológicos e a necessidade de políticas governamentais de apoio. Apesar destes desafios, as perspectivas futuras do hidrogênio nas indústrias parecem promissoras, com esforços contínuos para enfrentar estes obstáculos e desbloquear todo o potencial do hidrogênio como um interveniente fundamental num cenário energético sustentável.

No nível do sistema de energia, o hidrogênio pode permitir uma maior penetração de energias renováveis na rede, ao mesmo tempo que leva energia para todos os setores, sem a necessidade de construir capacidade adicional de rede cara. Para que o hidrogênio seja usado na rede de gás, as opções de armazenamento geológico (ou outra em grande escala) precisam ser avaliadas para cada região, bem como a adequação dos gasodutos para transmitir hidrogênio. Essas avaliações produziriam os caminhos mais econômicos para o hidrogênio

e as mudanças de infraestrutura necessárias. Um esforço coordenado e sustentado é necessário para conduzir essa transição massiva em todo o cenário de energia. Todas as partes interessadas devem garantir que as decisões de investimento tomadas hoje não sobrecarreguem o sistema de energia com tecnologias que serão abaixo do ideal no futuro. As sinergias possibilitadas pelo hidrogênio com outras alternativas de baixo carbono podem reduzir os custos no longo prazo. É por essas razões que o hidrogênio merece maior atenção de governos, indústria e academia para avaliar conjuntamente seu lugar no futuro sistema de energia e continuar a tomar as medidas necessárias para demonstrar seus benefícios para o sistema como um todo.

REFERÊNCIAS

BULLETIN, F. C. DNV GL says oil & gas industry sees hydrogen as key to decarbonisation. **Fuel Cells Bull.** v. 12, n. 78, p. 1-15, 2020.

DUBEY, P. K.; SINHA, A. S. K.; TALAPATRA, S.; KORATKAR, N.; AJAYAN, P. M.;

SRIVASTAVA, O. N. Hydrogen generation by water electrolysis using carbon nanotube anode. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 35, n. 9, p. 3945-3950, 2010.

EIA. **The Future of Hydrogen - Seizing Today's Opportunities**. Technology Report. (2019). Disponível em: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>. Acesso em: 20 mai. 2024.

3949

EL-HALWAGI, M. M.; CAMPBELL, J. E. **Integrated and tunable system for the production of syngas and chemicals via solar-assisted electrolysis and combined reforming**. WIPO IP, US patent application, Geneva, Switzerland, 2018.

FUKUROZAKI, S. H. Avaliação do ciclo de vida de potenciais rotas de produção de hidrogênio: estudo dos sistemas de gaseificação da biomassa e energia solar fotovoltaica. 2011. 180 f. **Tese** (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo. 2011.

GAMBETTA, F. Análise Técnica e Econômica de Retificadores de Corrente para Produção de Hidrogênio Eletrolítico: Estudo de Caso Aproveitando a EVT da UHE de Itaipu. 2010. 163 f. **Dissertação** (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010

HOLLADAY, J. D. et al. An overview of hydrogen production technologies. **Catalysis Today**, v. 139, n. 4, p. 244-260, 2019.

LOPES, D. G. **Análise técnica e econômica da inserção da tecnologia de produção de hidrogênio a partir da reforma de etanol para geração de energia elétrica com células a combustível**. Campinas, 2019.

MORENO-BENITO, M. et al. Towards a sustainable hydrogen economy: optimisation-based framework for hydrogen infrastructure development. **Comput. Chem. Eng.** v. 102, p. 110-127, 2017.

QUELHAS, J. F. **Tipos de energia, vantagens e desvantagens**. São Paulo: Chimoio, 2020.

RODRIGUES, R. A. **Células a hidrogênio: construção, aplicações e benefícios**. In: Revista Brasileira de Gestão e Engenharia. [S.l.: s.n.], 2017.

SHIVA KUMAR, S.; HIMABINDU, V. Hydrogen production by PEM water electrolysis – a review. **Mater. Sci. Energy Technol.** v. 2, 442-454, 2019.

YOUN, M. H., SEO, J. G., KIM, P., KIM, J. J., LEE, H., e SONG, I. K., Hydrogen production by auto-thermal reforming of ethanol over Ni/Al₂O₃ catalysts: effect of second metal addition. **Journal of Power Sources**, v. 162, p. 1270-1274, 2016.