

Hidrogênio verde: o modal dutoviário brasileiro como um desafio produtivo

Green hydrogen: the Brazilian pipeline modal as a production challenge

Johnny Gabriel Silva Santos
IFSP – Câmpus Suzano/BR

Enio Fernandes Rodrigues
IFSP – Câmpus Suzano/BR

Resumo

Este estudo apresenta uma análise sobre o hidrogênio verde e os desafios de expansão no Brasil, a partir da avaliação do modal dutoviário. O objetivo é discutir sobre o impacto da falta de infraestrutura dutoviária para a expansão da produção de hidrogênio verde no país, sobretudo analisando a relação entre o objetivo do Brasil de ser uma referência na produção e a sua falta de estrutura em comportar uma obra de tamanha complexidade. Com esta pesquisas bibliográficas foram analisados os aspectos da produção de hidrogênio e as características das dutovias do país, comparando com as perspectivas de expansão do Brasil e o crescimento da produção mundial, voltada a sustentabilidade. A pesquisa apresentou que o modal dutoviário brasileiro ainda é deficitário comparado a outros países do mundo, e isso pode afetar a produção de hidrogênio verde no país, tendo em vista os desafios consolidados no transporte e armazenamento deste material.

Palavras-Chave: Hidrogênio Verde; Modal Dutoviário; Sustentabilidade.

Abstract

This study presents an analysis of green hydrogen and the challenges of expansion in Brazil, based on an assessment of the pipeline modal. The aim is to discuss the impact of the lack of pipeline infrastructure on the expansion of green hydrogen production in the country, especially by analyzing the relationship between Brazil's goal of being a benchmark in production and its lack of structure to handle such a complex project. With this bibliographical research was analyzed the aspects of hydrogen production and the characteristics of the country's pipelines, comparing them with Brazil's prospects for expansion and the growth of global production, with a view to sustainability. As a result, this research analyzed the fact that Brazil's pipeline modal is still deficient compared to other countries in the world, and this could affect the production of green hydrogen in the country, given the consolidated challenges in transporting and storing this material.

Keywords: Green Hydrogen; Pipeline Modal; Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, as mudanças climáticas vêm se tornando o foco nas discussões mundiais acerca do meio ambiente e sustentabilidade. Quando se analisa o cenário mundial é possível observar que o planeta ainda é muito dependente de combustíveis fósseis para a obtenção de combustíveis e na produção de energia. O petróleo e o gás natural são algumas das principais fontes energéticas do mundo, devido ao seu baixo custo e a adaptabilidade nas mais variadas condições geográficas, destacamos aqui fontes energéticas o petróleo como principal combustível veicular, e o gás natural como a maior fonte energética da União Europeia.

O Brasil, por sua vez, possui uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, com destaque para a produção hidrelétrica e as grandes instalações eólicas do Nordeste, no entanto, o país ainda depende em outros aspectos de outros meios poluentes como o carvão e o petróleo, o que eleva a necessidade de o país limpar cada vez mais a sua matriz energética. Essa posição de destaque na produção de energia renovável, coloca o país como uma potência no campo da energia verde, e abre a possibilidade do país se tornar um pioneiro em larga escala na produção a partir do hidrogênio verde.

O hidrogênio verde é uma fonte energética de grande potencial produtivo, devido a sua abundância na atmosfera e a sua eficiência, contudo, há desafios latentes na sua produção como o custo elevado e as dificuldades de armazenamento e transporte do hidrogênio. No quesito transporte, o hidrogênio exige um alto rigor técnico de segurança na sua mobilidade, por sua calorimetria e alta pressão, sendo a forma mais usual o transporte por tubos e dutovias.

As dutovias brasileiras ainda representam menos de 5% da malha de transporte do país, sendo mais utilizada no transporte de gás natural e petróleo, estando principalmente localizadas nas regiões costeiras. Essa malha deficitária evidencia a necessidade de o país ampliar o seu modal dutoviário, observando a longo prazo a possibilidade de se tornar referência na produção de hidrogênio verde no futuro. Com isso, verifica-se também a importância do poder público de olhar o hidrogênio além da inovação, mas também como uma oportunidade de modernizar a sua malha de transporte.

Desta forma, esse estudo tem como objetivo discutir sobre a produção de hidrogênio no Brasil, e como isso pode auxiliar nos processos de expansão do modal dutoviário, ainda irrisório no cenário de transporte de cargas. Assim, realizou-se uma análise das possibilidades do Brasil

se tornar uma referência na produção de energia a partir do hidrogênio verde, e com isso, melhorar a sua infraestrutura dutoviária, para suprir a demanda latente por fontes de energia renovável no mundo.

2. EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1 Hidrogênio

O hidrogênio é o elemento mais abundante do universo, assim o mais simples da tabela periódica e estando presente na composição de inúmeras coisas, assim, por ser um elemento leve está em sua maior parte concentrado em átomos, sendo a sua forma livre pouco existente na terra. Com isso, por conta das suas características é considerável o combustível do futuro, devido a sua capacidade de renovação e a sua multiplicação no ambiente, além de concentrar uma grande carga de calor a partir de uma fonte considerada limpa (Atkins *et al*, 2018).

O elemento possui diversas aplicações nos mais variados setores, sendo comumente utilizado na indústria química, petroleira e alimentícia, devido às suas características voláteis sendo considerado uma boa fonte de geração de energia, encontrado ou produzido principalmente sob forma, líquida e gasosa. Diante desse fato, conforme Quadro 1, a seguir, vemos que nos últimos anos começaram as discussões sobre o uso de hidrogênio na produção energética, sobretudo como fonte renovável e limpa, podendo facilitar a transição energética entre os combustíveis fósseis e a energia livre de poluentes (Rifkin, 2003)

Quadro 1 – Propriedades e Especificações do Hidrogênio

PROPRIEDADES	ESPECIFICAÇÕES
Temperatura	0°C
Pressão	1 atm
Energia por/ Unidade de Massa	120,7 kJ/gr
Ponto de Fusão	259,20°C

Fonte: Adaptado de Estevão (2008)

Atualmente existem seis maneiras de obtenção de hidrogênio sendo eles o bioquímico, rádio químico, fotoquímico, híbrido, termoquímico e o eletroquímico. Dentre os citados o mais utilizado é o bioquímico que é produzido a partir da reforma do vapor de gás natural ou metano, tendo como principal utilização no refino de petróleo e amônia na indústria química (Viola, 2015)

2.2 Hidrogênio Verde

Desde décadas a sociedade começou a repensar as suas relações com o meio ambiente, desde a realização da conferência de Quioto em 1997, o mundo começou a sentir as mudanças climáticas e o aumento da temperatura em várias partes do planeta, consequentemente, foram

surgindo ideias e maneiras de reduzir os impactos no meio ambiente. Neste contexto, emerge o conceito de hidrogênio verde e o seu uso na geração de energia limpa, que é denominada desta forma por não utilizar métodos poluentes para a obtenção de energia (PUCRS, 2022)

Na literatura comumente são descritos quatro tipos de hidrogênio, caracterizados a partir da sua forma de obtenção, sendo eles, marrom, cinza, azul e verde confor Quadro 2, a seguir. Compreende-se como hidrogênio verde, o método livre de poluentes utilizados para a produção do componente, com isso, a forma mais comum de obtenção é através de um processo conhecido como eletrólise que é feito a partir da junção de moléculas de hidrogênio e oxigênio, gerando a reação H₂O (água) que depois é separada para capturar apenas as formações de hidrogênio, gerando assim energia e calor suficientes para a atividade-fim, deixando como resíduos da produção, apenas água que não foi transformado no processo (Freitas, 2022).

Quadro 2 – Tipos de produção de hidrogênio

TIPO	ORIGEM
Marrom	Carvão Mineral
Cinza	Combustíveis Fósseis
Azul	Fontes Fósseis
Verde	Fontes Limpas

Fonte: Adaptado de Etene (2021)

O setor de energia é tido como um dos mais poluentes do mundo sendo responsável por 2/3 da emissão de poluentes na atmosfera, detalhando também que cerca de 80% da produção de energia mundial advém de combustíveis fósseis (Knob, 2013). Com isso, é possível analisar que o hidrogênio pode desempenhar um papel de destaque na produção de energia renovável, sendo o meio mais eficiente e sustentável de geração energética, e apesar de seus altos custos, a tendência futura é de maior adesão das nações na produção de hidrogênio verde.

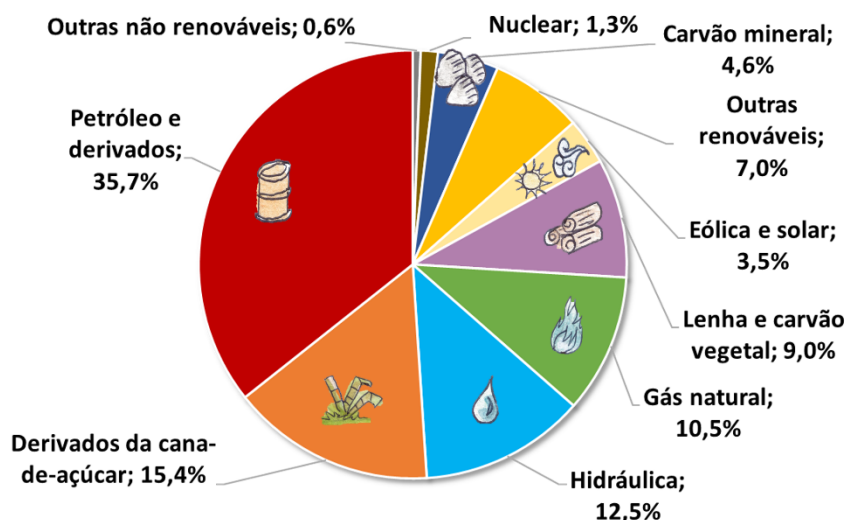
A matriz energética brasileira é considerada uma das mais limpas do mundo, principalmente pela geração de energia hidrelétrica, devido a grande quantidade de água disponível no país. A utilização do hidrogênio no Brasil se dá principalmente na produção industrial, que utiliza geralmente o método do hidrogênio cinza na maioria dos seus processos, sendo comumente realizados pela indústria petroquímica, siderúrgica e metalúrgica, e em menor número nas termelétricas para geração de energia (Giz, 2021).

O hidrogênio verde ainda é estudado no Brasil como um empreendimento teórico, já que não existem grandes usinas no país, apenas laboratórios experimentais, ressaltando que o Brasil tem um grande potencial nesse campo, sendo uma referência em energia limpa no mundo. Uma vantagem do sistema energético brasileiro é a complementaridade das fontes energéticas, ressaltando que em épocas de reservatórios mais baixos, os ventos tendem a ser mais fortes, o

Hidrogênio verde: o modal dutoviário brasileiro como um desafio produtivo

que favorece a geração eólica, e em caso de calor extremo, as fontes fotovoltaicas se favorecem na geração de energia (Kelman *et al*, 2020), conforme Figura 1, a seguir.

Figura 1 – Matriz energética brasileira



Fonte: EPE (2022)

Os primeiros passos na produção de hidrogênio no Brasil se deram a partir da criação do Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio (CENEH) em 1998, que era uma instituição voltada a analisar as pesquisas em desenvolvimento na utilização de hidrogênio para a melhoria da produção industrial e geração energética. No ano de 2003, aliou-se a outras nações na parceria internacional para o hidrogênio e células de combustíveis na economia, conduzindo através do ministério da ciência e tecnologia a criação do Programa de Ciência,

Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio (ProH₂), sendo um dos programas norteadores no Brasil para uma economia baseada no hidrogênio verde (Etene, 2021). Vale destacar que o país possui uma geografia privilegiada na geração de energia renovável, devido a sua quantidade de rios e a vasta região costeira que aliada aos ventos, tornam-se um ambiente ideal para a produção menos custosa de hidrogênio verde. O movimento mais recente sobre o hidrogênio no cenário institucional brasileiro, se deu no ano de 2020 com a sua inclusão no plano nacional de energia 2050, que traçou objetivos e metas para a utilização do hidrogênio como fonte de energia.

Em 2020, o Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050) apontou o hidrogênio como uma tecnologia disruptiva e como elemento de interesse no contexto da descarbonização da matriz energética, elencando diversos usos e aplicações, além de trazer recomendações para a política energética, entre as quais se podem destacar o adequado desenho do arcabouço jurídico-regulatório, que incentive a entrada de tecnologias aplicáveis à cadeia energética do hidrogênio como um todo (produção, transporte, armazenamento e consumo (Etene, 2021, p. 6).

A produção mundial tem uma correspondência de 14,7% na geração renovável de energia, ressaltando que no Brasil esse indicador atinge cerca de 45% da produção nacional, situação essa que coloca o país em posição de destaque na geração renovável de energia (EPE, 2022). Com isso, o Brasil se torna competitivo no cenário mundial para liderar a chamada descarbonização do mundo, sendo uma referência em energia limpa no planeta, se tornando também uma oportunidade de também sair na frente nas pesquisas relacionadas ao uso do hidrogênio verde nas mais diversas áreas do cotidiano.

2.3 Transporte Dutoviário

O modal dutoviário compreende todo o tipo de transporte realizado por meio de dutos de aço, que movem os componentes por meio da gravidade ou pressão, subdividindo-se em via, terminal, controle e veículo, para tanto, toda dutovia deve possuir algumas características essenciais, terminais, equipamentos de propulsão, os tubos e as suas junções. (Coelho, 2009). Desta forma, o transporte dutoviário se constitui de uma rede de tubos interligados que são utilizados para mover os mais variados tipos de produtos, seja líquido ou gasoso.

As vias tubulares de transporte funcionam de acordo com as especificidades de cada produto, sendo o veículo, na maioria dos casos, o próprio produto que através da pressão e/ou gravidade impulsiona as moléculas em um movimento contínuo, cabendo aos terminais do tubo controlarem o fluxo, armazenar e distribuir para outros locais (Dantas *et al*, 2023). O modal dutoviário é distribuído em tipificações de acordo com o produto transportado, sendo os mais utilizados o gasoduto, no transporte de gases naturais, oleodutos, empregados principalmente no setor petrolífero e os minerodutos, utilizados pelas indústrias de mineração no transporte de matéria prima.

Suas características permitem que essa modalidade de transporte seja mais barata, menos custosa energeticamente e representa menos riscos de sofrer impactos de fatores externos, como clima ou mudanças atmosféricas (Penteado, 2021). Destaca-se também que o transporte dutoviária possui classificações quanto às suas localizações entre os quais são definidos como aparentes, que ficam acima do solo, aéreos, formados pelos dutos que ficam suspenso no ar,

submarinos, submersos no fundo do mar e os subterrâneos, localizados abaixo do solo (Pessoa, 2016)

No Brasil, as dutovias são o meio de transporte menos utilizado, correspondendo a cerca de 4% dos transportes realizados atualmente, se concentrando principalmente em vias na costa brasileira com pouco mais de 9.000 km de comprimento. O sistema dutoviário mais conhecido é o gasoduto Brasil-Bolívia, maior duto da América do Sul com mais de 3.000 km de extensão. (Vaz; Oliveira; Damasceno, 2005). Apesar disso, os oleodutos são os tipos mais utilizados no país, correspondendo a mais de 60% dos dutos brasileiros, sendo controlado quase que exclusivamente pela Transpetro, empresa do grupo Petrobrás, vide Figura 2, a seguir.

Figura 2 – Distribuição dutoviária no Brasil



Fonte: ONTL, 2023.

Apesar de ser um meio de transporte mais barato para o transporte de alguns produtos, os tubos ainda são pouco explorados pelas indústrias no país, principalmente devido à falta de mão de obra especializada e a sua inflexibilidade, pois conecta apenas o ponto de partida com o destino, sendo necessária a instalação e vários tubos para o alcance de outras regiões. (Dantas *et al*, 2023). Com isso, observa-se que o modal dutoviário é um meio eficiente de transporte em longas distâncias, além de ser mais seguro ao produto, devido à baixa capacidade de danos e a sua inviabilidade climática, permitindo a plena operação.

3. MÉTODO

Para o desenvolvimento desse estudo, a metodologia utilizada foi a de pesquisas qualitativa, que se concentraram em coletar informações sobre o assunto em obras contemporâneas e de cunho estritamente científico. Assim, Fonseca (2002) define que uma

pesquisa bibliográfica, é constituída a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, publicadas em textos de sites, revistas, jornais e livros. O autor ressalta também que “Qualquer trabalho científico se inicia com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto” (Fonseca, 2002).

Assim, compreende-se como pesquisa bibliográfica, a coleta de informações e dados já estudados, a partir de autores, obras e textos já publicados, como forma de validar a hipótese de um artigo ou fortalecer a sua relevância textual.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de hidrogênio verde para o setor energético ainda é considerada baixa no mundo, sendo um dos meios mais caros para a obtenção de energia, devido a pouca tecnologia disponível, e o alto custo de implementação. Garcia (2024) detalha que o custo médio do hidrogênio verde é de cerca de 6 dólares por quilo, podendo chegar em 2 dólares por kg até 2030, com o avanço da agenda verde e o ideal sustentável.

Esse alto custo torna o hidrogênio verde, uma fonte de energia pouco competitiva, se comparado a alternativas mais econômicas como a energia solar e eólica. Contudo, vale destacar que o hidrogênio é uma fonte infinita do universo, e por suas características moleculares, gera mais calor do que qualquer outra fonte, tornando-se a fonte energética mais eficiente já estudada (Estevão, 2008).

Considerando as características técnicas do hidrogênio, a sua produção é um dos processos difíceis que existe, devido a sua natureza leve e altamente inflamável. Esses desafios se acentuam ainda mais quando é considerado o tipo de hidrogênio produzido, líquido, sólido ou gasoso. Na produção energética, o processo mais comum é a eletrólise, método de produção gasosa, onde há a decomposição dos átomos, gerando como resíduo apenas a água, esse processo em sua essência é mais utilizado, por ser considerado mais barato e mais ambientalmente sustentável (Abe *et al.*, 2019).

Dessa forma, o comportamento do hidrogênio, sugere métodos de transporte e armazenamento mais eficientes, para garantir a viabilidade na produção em massa de energia. O armazenamento de hidrogênio gasoso é principalmente realizado através do uso de tanques de ar comprimido, geralmente produzidos de aço ou alumínio, esses tanques atendem a altos critérios técnicos de manutenção para garantir a sua integridade e eficiência no armazenamento (Bitencourt, 2023).

No entanto, esse tipo de armazenamento também gera perdas energéticas no processo produtivo de cerca de 11% a 13% devido a pressurização (Abe *et al*, 2019). Para contornar esse problema, sugere-se o armazenamento em dutos subterrâneos, por ser uma opção mais viável a longo prazo e larga escala, contudo, há também um meio já utilizado pelas petroquímicas há mais de 50 anos, as cavernas de sal, que possuem condições de armazenar melhor esses gases, considerando também os seus aspectos geológicos (International Energy Agency, 2021), vide Figura 3, a seguir..

Figura 3 – Ilustração de um tanque de ar comprimido.



Fonte: Iberdrola (2021)

O transporte de hidrogênio, por sua vez, é considerado um desafio ainda maior para a expansão da produção de hidrogênio, por exigir meios seguros e modernos de mobilidade, sendo transportado por meio rodoviário, aquaviário e mais comumente em gasodutos (Lameiras, 2019). Vale ressaltar que a escolha do transporte a ser utilizado irá variar de acordo com cada tipo de hidrogênio, assim como suas circunstâncias e características, sendo mais usual para longas distâncias o método aquaviário, e nas curtas distâncias o dutoviário, devido à baixa estrutura disponível.

No entanto, nesse contexto se destaca o uso do modal dutoviário, considerado mais seguro, rápido e eficiente no transporte de gases, como já é visto na mobilidade de gás natural (Dantas *et al*, 2023). O uso de dutos no transporte se torna ainda mais atrativo, devido ao aproveitamento da infraestrutura já existente, podendo até mesmo se misturar, em certo grau, com o gás natural, geralmente transportado pelos tubos (Giz, 2021; Weichen Hain *et al.*, 2021).

Segundo estimativas da Hydrogen Council (2021), os investimentos com hidrogênio verde devem ultrapassar 500 bilhões de dólares até 2030, demonstrando o interesse crescente

das indústrias e nações por esse tipo de energia. Por ora, essa demanda se concentra principalmente em buscar novas opções de produção energética e de combustíveis, a partir de soluções renováveis, devido à crescente preocupação com as mudanças climáticas. Para suprir essa demanda, muitos países estão investindo na criação e manutenção de infraestrutura para a produção, armazenamento e transporte do hidrogênio, como o projeto H2med da União Europeia (UE) que visa a construção de um duto de cerca de 20.000 milhas entre Alemanha, Espanha, França e Portugal que irá transportar cerca de 2 milhões de toneladas de hidrogênio até 2030, sendo responsável por mais de 10% da produção energética do continente (H2med, 2023).

No continente americano, os Estados Unidos se destacam na criação de dutos para o transporte energético com a idealização de uma série de gasodutos na Califórnia, criados por uma empresa privada que busca fornecer energia limpa para Los Angeles (SoCalGas, 2022). No Brasil, um estudo da BloombergNEF destacou o país como um dos únicos países a conseguir oferecer hidrogênio verde por menos de US\$ 1/ Kg até 2030, porém a consultoria destaca que para essa oferta ser possível o país precisa investir mais de 400 bilhões de dólares em pesquisas e estruturas. No contexto do transporte, os dutos correspondem a cerca de 4% da malha de cargas brasileiras, sendo uma das mais deficitárias e com menos expansões, sendo principalmente utilizados no transporte de petróleo e gás natural, ainda, majoritariamente concentrada nas regiões costeiras.

Segundo a EPE (2020) o modal dutoviário brasileiro tem grande potencial de crescimento nos próximos anos, tendo uma malha atual de 9.4 mil quilômetros de extensão com uma estimativa de investimentos para a construção de mais 1900 quilômetros nos próximos anos. Apesar desses investimentos, o crescimento das vias ainda é tímido comparado a outras nações como Argentina e Estados Unidos.

Por fim, destaca-se que o transporte de hidrogênio ainda é cercado de incertezas na cadeia de produção, devido ao foco das pesquisas recentes e as definições e formas de modernizar o seu uso, porém, é importante avaliar que o hidrogênio verde já é considerado a energia do futuro, devido a sua eficiência e sustentabilidade.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, é possível observar que o hidrogênio verde é considerado a fonte de energia do futuro, com suas características favoráveis à sustentabilidade e os seus aspectos físicos que

trazem eficiência e alta produtividade energética. Com isso, o mundo tende cada vez mais a criar formas e meios de produzir o hidrogênio verde em larga escala, utilizando de meios tecnológicos inovadores, e processos produtivos cada vez mais eficientes.

Analisando o cenário do Brasil, observa-se que há inúmeros desafios a serem superados para a produção de hidrogênio, dentre elas a infraestrutura, inovação e o desenvolvimento tecnológico, já que o pouco material que é produzido no país ainda se resume a estudos e pesquisas científicas, assim, é de extrema importância que esses estudos avancem para de fato consolidarem o país como referência na produção de hidrogênio verde.

Ressalta-se também, que a malha dutoviária brasileira, o modal de maior relevância no transporte de hidrogênio, ainda é um dos mais baixos do país com uma extensão irrisória e de pouca modernização, o que consiste em um desafio ainda maior para a expansão da produção de hidrogênio verde, fonte essa que demanda muito rigor técnico na sua fabricação e um alto nível de segurança no seu transporte e armazenamento.

Desta forma, verifica-se a importância de se adaptar, modernizar e criar infraestruturas no modal dutoviário brasileiro, pois isso irá permitir que a fabricação do hidrogênio verde se expanda para todas as partes do Brasil, podendo até se ter uma perspectiva no futuro de exportar essa energia para outros países, como já é feito pelo gasoduto Brasil-Bolívia um dos mais relevantes da América Latina. No entanto, o cenário atual ainda é desfavorável para a produção brasileira, pois as pesquisas do hidrogênio se concentram exclusivamente na sua utilidade, deixando de lado os seus aspectos de mobilidade, e a longo prazo a estrutura dutoviária possui diversos planos de expansão em diversas regiões do país, contudo, essa expansão ainda é considerada ínfima comparado a outros países da região, sobretudo quando analisado o monopólio exclusivo dos dutos pela Petrobrás de mais de 60% do modal.

Desta forma, a tendência é que o hidrogênio verde se consolide como uma forma alternativa de produção energética, sendo responsável por uma das maiores transformações no ramo das fontes renováveis. Por fim, avalia-se o papel do Brasil nessa transformação, colocando que o país ainda precisa desenvolver e melhorar muitos aspectos produtivos, sobretudo na área do transporte e armazenamento.

REFERÊNCIAS

ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

- COELHO, C. W. **Transporte dutoviário**: características diante do sistema viário brasileiro. Monografia (Graduação em Comércio Exterior) – Universidade do Vale do Itajaí. Itajaí, SC, 2009.
- COUNCIL, Hydrogen. **Hydrogen Insights**. Disponível em: <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2021/07/Hydrogen-Insights-July-2021-Executive-summary.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2024.
- DANTAS, André Augusto Nóbrega et al. **Análise da implantação do modal dutoviário no transporte de grãos do Centro-Oeste**. Colóquio - Revista do Desenvolvimento Regional, v. 20, n. 1, jan./mar., p. 83-97, 2023.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Dados 2015**. Disponível em: www.epe.gov.br. Acesso em: 02 abr. 2024.
- ESTÊVÃO, Tânia Esmeralda Rodrigues. **O Hidrogênio como combustível**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2008.
- ETENE- Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste. **Hidrogênio verde**: nasce um gigante no setor de energia. n. 212, 2021.
- FOLHA. **Entenda o que é o hidrogênio verde**: chamado de combustível do futuro na transição energética. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2024/02/entenda-o-que-e-o-hidrogenio-verde-chamado-de-combustivel-do-futuro-na-transicao-energetica.shtml>. Acesso em: 28 mar. 2024.
- FONSECA, J. J. S. **Apostila**: Metodologia da pesquisa científica. Fortaleza: UEC, 2002.
- FREITAS, Guilherme Marcelino Teixeira de. **Hidrogênio verde**: estudo de caso sobre o potencial brasileiro como exportador para União Europeia utilizando programação linear. 2022. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) -Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Niterói, 2022
- GIZ. **Mapeamento do Setor de Hidrogênio Brasileiro**. [S. l.: s. n.], 27 out. 2021. Disponível em: www.energypartnership.com.br. Acesso em: 03 abr. 2024.
- H2MED, **O primeiro grande corredor de hidrogênio verde na Europa**. Disponível em: <https://h2medproject.com/>. Acesso em: 28 mar. 2024.
- IBERDROLA. **Hidrogênio Verde**. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/hidrogenio-verde>. Acesso em: 28 mar. 2024.
- KELMAN, R. et al. **Can Brazil Become a Green Hydrogen Powerhouse**. Journal of Power and Energy Engineering, [s. l.], v. 8, p. 21-32, 2020. Disponível em: <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/56071>. Acesso em: 22 jan. 2022

- KNOB, D. **Geração de hidrogênio por eletrólise da água utilizando energia solar fotovoltaica**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear Materiais) - Instituto De Pesquisas Energéticas E Nucleares. São Paulo, 2013.
- LAMEIRAS, F. L. **O Hidrogênio como Vetor de Energia**: trabalho de conclusão de curso. Monografia (Curso de Altos Estudos de Política e Estratégia). Escola Superior de Guerra, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://antigo.mme.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=1d8b37a8-a0d4-deee-74fe-02f4e4abc65d&groupId=36208>. Acesso em: 08 mar. 2024.
- ONTL, Observatório Nacional de Transporte e Logística. **Anuário Estatístico 2022**. Disponível em: www.ontl.epl.gov.br/anoario-estatistico. Acesso em: 02 mar. 2024.
- PENTEADO, Gabrielle da Conceição Marques. **Modais de transporte e sua importância no avanço da logística**, 2021. Artigo de graduação (Curso Superior de Tecnologia em Logística) - Faculdade de Tecnologia de Americana, Americana, 2021. trabalho apresentado no XII Congresso de Logística das Faculdades de Tecnologia do Centro Paula Souza - FatecLog Mogi das Cruzes, 2021
- PESSOA, T. A. **Logística brasileira: um estudo teórico do modal dutoviário**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Administração) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2016.
- PUCRS. **Energia do futuro? Entenda o que é hidrogênio verde**. 2022. Disponível em: <https://www.pucrs.br/blog/hidrogenio-verde/>. Acesso em: 28 mar. 2024.
- RIFKIN, Jeremy. **A economia do hidrogênio**. 1. ed. São Paulo: M. Books, 2003.
- SOCALGAS. **Innovation Experience**. Disponível em: <https://www.socalgas.com/sustainability/h2home>. Acesso em: 28 mar. 2024.
- VAZ, Alexildo Velozo; OLIVEIRA, Kelly Nogueira de; DAMASCENO, Pedro Ernesto Gonçalves. **O modal dutoviário: Análise da importância e considerações sobre suas principais características**. Programa de Mestrado em Engenharias de Transportes-PETTRAN. Universidade Federal do Ceará, UFC, 2005.
- VIOLA, L. **Estudo da produção de hidrogênio eletrolítico a partir de fontes eólica, solar e hidrelétrica**. p. 68, 2015.
- WEICHENHAIN, Uwe; ALBERS, Bram; BILLEN, Dieter; BERNARDO, Antonio. **Hydrogen transportation** | The key to unlocking the clean hydrogen economy. Munique: [s. n.], out. 2021.