



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS ANGICAL
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM EMPREENDEDORISMO E INVOÇÃO

ARLETE PEREIRA DA SILVA BORGES

A PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE E SEUS IMPACTOS NO CENÁRIO
ECONÔMICO E SOCIAL DO PIAUÍ

ANGICAL DO PIAUÍ-PI

2024

ARLETE PEREIRA DA SILVA BORGES

A PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE E SEUS IMPACTOS NO CENÁRIO
ECONÔMICO E SOCIAL DO PIAUÍ

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo científico)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Especialização em
Empreendedorismo e Inovação do Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí,
Campus Angical do Piauí.

Orientador: Prof. Me. Leonardo Ramon Rêgo Daltro
Lopes.

ANGICAL DO PIAUÍ-PI
2024

A PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE E SEUS IMPACTOS NO CENÁRIO ECONÔMICO E SOCIAL DO PIAUÍ

Arlete Pereira da Silva Borges ¹

Prof. Me. Leonardo Ramon Rêgo Daltro Lopes.²

RESUMO

O presente artigo tem por objetivo analisar a produção de Hidrogênio Verde como Fonte de Energia Renovável e quais são os seus impactos no cenário econômico e social do Piauí. Quanto aos objetivos específicos esta focados em compreender a produção de Hidrogênio Verde como fonte de inovação e empreendedorismo no Piauí e discutir a produção de Hidrogênio Verde e seus impactos no cenário econômico e social do Piauí. O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de natureza qualitativa, pois é uma abordagem metodológica que busca compreender e interpretar fenômenos sociais e humanos por meio de avaliação de dados não numéricos principalmente pela análise de conteúdo textual. A estrutura do presente trabalho foi organizada com base em uma revisão bibliográfica elaborada a partir da utilização de materiais publicados como artigos científicos, livros, monografias, informações de sites de governo do Piauí e órgãos internacionais, publicações técnico-científicas a fim de embasar e dar solidez e coerência como objetivo do presente trabalho. A presente pesquisa foi desenvolvida no período de maio a junho de 2024. Os dados foram coletados por fontes bibliográficas localizados nas bases de consulta – SCIELO (Scientific Electronic Library Online e Google Acadêmico. Os resultados foram apresentados por meio da descrição dos principais achados após análise e por meio de um quadro sinóptico demonstrativo que caracteriza cada artigo de acordo com o autor, metodologia e principais resultados encontrados. O hidrogênio verde está emergindo como uma solução promissora para enfrentar os desafios da transição energética e reduzir a dependência de combustíveis fósseis. O aumento da produção e adoção do hidrogênio verde traz consigo inúmeras vantagens, como a redução das emissões de gases de efeito estufa, a diversificação da matriz energética, o impulso à economia sustentável e a criação de empregos verdes. Foi mostrado nesse trabalho os panoramas global, nacional e nordestino da produção desse combustível. A partir disso, foi observado que o Nordeste desponta como a região brasileira com avanços mais significativos de produção e comercialização do hidrogênio verde. Isso se deve ao fato de que essa é a região mais promissora para ser líder nacional de produção e exportação desse combustível no futuro.

Palavras-chave: Hidrogênio verde, viabilidade econômica; sustentabilidade energética.

ABSTRACT

This article aims to analyze the production of Green Hydrogen as a Renewable Energy Source and what its impacts are on the economic and social scenario of Piauí. As for the specific objectives, they are focused on understanding the production of Green Hydrogen as a source of innovation and entrepreneurship in Piauí and discussing the production of Green Hydrogen and its impacts on the economic and social scenario of Piauí. The present work is characterized as

¹ Graduada em Bacharelado em Administração pela Universidade Federal do Piauí. Arlete Pereira da Silva Borges. E-mail: rltborges66@gmail.com.

² Professor EBTT do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI. Mestre em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação - UFPI. E-mail: leonardo.lopes@ifpi.edu.br

qualitative research, as it is a methodological approach that seeks to understand and interpret social and human phenomena through the evaluation of non-numerical data mainly through the analysis of textual content. The structure of this work was organized based on a bibliographical review prepared using published materials such as scientific articles, books, monographs, information from Piauí government websites and international bodies, technical-scientific publications in order to support and provide solidity and coherence as the objective of this work. This research was developed from May to June 2024. The data was collected by bibliographic sources located in the consultation databases –SCIELO (ScientificElectronic Library Online and Google Scholar. The results were presented through a description of the main findings after analysis and through a demonstrative synoptic table that characterizes each article according to the author, methodology and main results found. Green hydrogen is emerging as a promising solution to address the challenges of the energy transition and reduce dependence on fossil fuels. Increasing the production and adoption of green hydrogen brings with it numerous advantages, such as reducing greenhouse gas emissions, diversifying the energy matrix, boosting a sustainable economy and creating green jobs. This work showed the global, national and northeastern panoramas of the production of this fuel. From this, it was observed that the Northeast emerges as the Brazilian region with the most significant advances in the production and commercialization of green hydrogen. This is due to the fact that this is the most promising region to be a national leader in the production and export of this fuel in the future.

Keywords: Green hydrogen, economic viability; energy sustainability.

Data de aprovação: 17 /07/2024

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a busca por fontes de energia limpa e renovável tem se intensificado em todo o mundo devido à crescente preocupação com as mudanças climáticas e a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Nesse contexto, o hidrogênio verde tem emergido como uma alternativa promissora e sustentável para atender às demandas energéticas globais (LUPE, 2012). Ao contrário do hidrogênio tradicional, que é produzido partir de combustíveis fósseis e gera emissões de dióxido de carbono, o hidrogênio verde é produzido por meio da eletrólise da água utilizando fontes de energia renovável, como a eólica e a solar (AZEVEDO, 2023).

Além de ser uma fonte de energia limpa o hidrogênio verde apresenta um potencial significativo para transformar diversos setores, incluindo transporte, indústria e armazenamento de energia (SIFFERT; ROCHA, 2023). No setor de transporte, o hidrogênio verde é uma alternativa aos veículos movidos a combustíveis fósseis. Na indústria pode ser utilizado em produtos químicos dentre várias outras utilidades (CARVALHO; GARCIA,2022).

Outros desafios, segundo Azevedo(2023), é a redução dos custos de produção, o desenvolvimento de infraestrutura adequada, qual a disponibilidade hídrica e principalmente um produção viável. Com base em estudos anteriores procuramos analisar qual a importância da produção de hidrogênio como fonte de energia renovável e os seus impactos econômicos, ambiental e social nas regiões onde estão implantadas.

A produção de hidrogênio verde é de grande relevância devido ao potencial que o estado produz em energia renovável, principalmente oriundas da produção da energia fotovoltaica e eólica, pois segundo relatório da Agência Nacional de Energia Elétrica(ANEEL) o Piauí ocupa

o terceiro lugar do país; consolidando desta forma como referência em produção de energia renovável. Além disso, a produção de H₂V pode gerar empregos locais, impulsionar o desenvolvimento econômico e atrair investimentos para a região promovendo assim o crescimento regional e a inovação tecnológica. Essa iniciativa não só beneficiaria o estado, mas também contribuiria para os esforços globais de combate às mudanças climáticas e de transição para uma matriz energética mais limpa e diversificada.

Neste sentido a presente pesquisa tem como problema questionar Quais os impactos que a produção de hidrogênio verde gera no cenário econômico e social do Piauí?

O tema Energia renovável é bastante discutido atualmente pelos mais diversos países e instituições como na 27^ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, realizada no Egito em 2022 com mais de 190 países para discutir sobre os impactos causados ao meio ambiente no qual o Brasil se posicionou como sendo o futuro da energia limpa. Propondo-se a adotar uma matriz energética mais sustentável e limpa. Neste sentido a pesquisa se justifica por se tratar de um assunto bastante relevante pois os impactos que geram na sociedade além de contribuir para a redução do efeito estufa, preservar o meio ambiente e os recursos naturais, preserva a biodiversidade, reduz o custo de energia e garante a segurança energética do país; Além de contribuir para a geração de renda e novos empregos incentivando a melhoria social.

O Brasil especialmente o Nordeste se tornou grande potencial na geração de energia renovável, pois possui condições naturais que favorecem a produção de energias renováveis como a incidência solar praticamente o ano inteiro, vento e água. Com a industrialização do Nordeste brasileiro o Piauí tem ganhado destaque recentemente por fazer parcerias com a União Europeia na implantação de projetos de Hidrogênio verde que está em potencial de ser o novo combustível do futuro. O investimento é uma fonte de inovação que possui fomentos e parcerias entre a sociedade chamada tríplex hélice entre a sociedade, governo e instituições; Deste modo gerando emprego e melhorando o cenário econômico e social da sociedade no qual está inserida.

O presente artigo tem por objetivo analisar a produção de Hidrogênio Verde como Fonte de Energia Renovável e quais são os seus impactos no cenário econômico e social do Piauí. Quanto aos objetivos específicos esta focados em compreender a produção de Hidrogênio Verde como fonte de inovação e empreendedorismo no Piauí e discutir a produção de Hidrogênio Verde e seus impactos no cenário econômico e social do Piauí.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O HIDROGÊNIO VERDE E SUAS CARACTERÍSTICAS

O hidrogênio verde é produzido por meio de um processo chamado eletrólise da água, que ocorre em um eletrólito aquoso, geralmente utilizando água como matéria-prima. Durante esse processo, a eletricidade renovável, como a solar ou eólica, é utilizada para decompor a água em seus componentes básicos, hidrogênio e oxigênio. Esse método de produção de hidrogênio é considerado "verde" porque não emite carbono durante o processo, ao contrário dos métodos tradicionais que dependem de combustíveis fósseis, tornando-o uma opção promissora para a transição energética global (MELO, 2022).

Segundo Melo (2022) o hidrogênio possui várias classificações dentre elas:

Quadro 1 – Tipos de Hidrogênio Verde

Hidrogênio Verde	Produzido por eletrólise da água utilizando eletricidade renovável, sem emissões de carbono durante a produção.
Hidrogênio Cinza	Obtido a partir da reforma de vapor de gás natural, com emissões de CO ₂ capturadas e armazenadas antes de serem liberadas.
Hidrogênio Azul:	Similar ao hidrogênio cinza, mas as emissões de CO ₂ são capturadas e permanentemente armazenadas através do processo de captura e armazenamento de carbono.
Hidrogênio Marrom	Produzido a partir da reforma de carvão, com altas emissões de CO ₂ e considerado menos sustentável devido à dependência de combustíveis fósseis.
Hidrogênio Preto	Produzido por gaseificação do carvão mineral.
Hidrogênio Branco	Produzido a partir da extração do hidrogênio natural ou geológico.
Hidrogênio Turquesa	Produzido por pirólise do metano, sem gerar CO ₂ .
Hidrogênio Musgo	Produzido por reformas catalíticas ou biodigestão anaeróbica de biomassa, com ou sem CCUS.
Hidrogênio Rosa	Produzido com fonte de energia nuclear.

Fonte: Melo (2022)

Suas formas de utilização são diversas a abrangem setores chaves da economia como o funcionamento de veículos a hidrogênio, armazenamento de energia, geração de eletricidade, aplicações industriais, aquecimento residencial e comercial, aplicações portuárias e marítimas; Além disso uma aplicação promissora é a produção de amônia, componente vital para a produção de fertilizantes agrícolas (SIFFERT Nelson; ROCHA Katia, 2023).

2.2 A PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE COMO FONTE DE INOVAÇÃO BASEADA NA TRÍPLICE HÉLICE

O conceito de inovação, conforme delineado no Manual de Oslo da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2018), abrange uma ampla gama de atividades relacionadas ao desenvolvimento e introdução de novos produtos, processos e serviços, bem como à adoção de práticas organizacionais e marketing inovadoras. Segundo o Manual de Oslo (2018), a inovação pode ocorrer em diferentes formas, incluindo inovação de produto, processo, marketing e organizacional. Além disso, o manual ressalta a importância da pesquisa e desenvolvimento (P&D) como uma das principais atividades relacionadas à inovação, mas também reconhece que a inovação pode surgir de outras fontes, como interações com clientes e fornecedores, colaborações entre empresas e transferência de conhecimento.

Relacionando o conceito de inovação com o modelo de Tríplice Hélice destacado na Figura 01, proposto por Henry Etzkowitz e LoetLeydesdorff (2017), podemos destacar a interação dinâmica entre três atores principais: academia, indústria e governo. Nesse modelo, a academia representa o conhecimento científico e tecnológico, a indústria representa a aplicação prática desse conhecimento na forma de produtos e serviços inovadores, e o governo atua como um facilitador, criando políticas e programas de apoio à inovação e promovendo a colaboração entre os diferentes setores. Essa abordagem colaborativa entre academia, indústria e governo é essencial para impulsionar o processo de inovação e promover o desenvolvimento econômico e social sustentável.

Figura 01 – Tríplice Hélice



Fonte: Readaptado do modelo de Etzkowitz e LoetLeydesdorff (2017)

Portanto, o Manual de Oslo (2018) e o modelo de Tríplice Hélice destacam a importância da inovação como um motor-chave do crescimento econômico e do progresso social, enfatizando a necessidade de colaboração e interação entre diferentes partes interessadas para promover um ambiente propício à inovação e ao desenvolvimento sustentável. Ao integrar esses conceitos e abordagens, os países e regiões podem criar ecossistemas de inovação dinâmicos e resilientes, capazes de enfrentar os desafios e aproveitar as oportunidades do mundo em constante mudança.

2.3 O PAPEL DO BRASIL NA PRODUÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL

A população tem discutido cada vez mais sobre a emissão de gases de efeito estufa e seus impactos como o aumento da temperatura global causada pela queima de combustíveis fósseis gerados da queima de petróleo, gás natural e carvão; sendo o Brasil um dos maiores produtores desses gases, provocado principalmente pela produção energética e a agricultura. Diante deste cenário várias conferências e acordos foram organizados pela Organização das Nações Unidas (ONU) desde 1972 como a Agenda 21 firmada em 1992 na Eco-92, protocolo

de Quito, Acordo de Paris dentre outros visando a criação de novas fontes de energias renováveis (CARVALHO,2022).

Atualmente a União Europeia enfrenta uma crise energética multifacetada, impulsionada por uma série de fatores que afetam sua capacidade de garantir o abastecimento de energia. Uma das principais causas dessa crise é a crescente dependência da UE de importações de gás natural e outras fontes de energia. A redução da produção interna de gás e carvão, combinada com questões geopolíticas que afetam o fornecimento de gás da Rússia e o aumento dos preços internacionais do gás, tem colocado pressão sobre os países membros para encontrar fontes alternativas de energia. Além disso, a transição para fontes de energia renovável está em curso, mas ainda não está totalmente implementada em muitos países, o que limita a capacidade da UE de se afastar rapidamente dos combustíveis fósseis.

Outro desafio enfrentado pela União Europeia é a escassez de eletricidade, que foi exacerbada por condições climáticas extremas, como ondas de calor e secas que reduziram a produção de energia hidrelétrica e eólica em alguns países. Essa escassez tem levado a aumentos nos preços da eletricidade e a preocupações com a segurança do abastecimento, especialmente em meio à recuperação econômica pós-pandemia. Para lidar com essa crise, a UE está buscando medidas de curto prazo, como aumentar as importações de gás liquefeito, liberar reservas estratégicas de petróleo e gás e implementar políticas para reduzir a demanda de energia. Ao mesmo tempo, os líderes europeus estão reavaliando suas estratégias energéticas a longo prazo, com foco em aumentar a autossuficiência energética, promover a eficiência energética e acelerar a transição para fontes de energia renovável (CARVALHO, 2022). Até 2030, a Comissão Europeia almeja a produção de 10 milhões de toneladas de hidrogênio verde em território europeu e a importação de 10 milhões de toneladas adicionais de forma a substituir combustíveis fósseis (CONSELHO EUROPEU, 2022).

Segundo a Azevedo 2023 diante da viabilidade de ser produzido a partir de fontes de energia renovável, o hidrogênio verde apresenta-se como uma solução promissora para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar as emissões de gases de efeito estufa nesse cenário o Brasil apresenta-se como grande produtor de hidrogênio verde, pois possui uma vasta extensão territorial e recursos naturais como água e o sol principalmente na região nordeste do país e além disso possui uma posição privilegiada para exportação do produto para outros países.

2.3.1 A participação do Piauí no cenário atual na produção de energia e energias renováveis.

Atualmente, o Estado do Piauí é apontado como uma potência energética no que tange a produção de energia a partir de fontes alternativas tais como solar, eólica, biomassa e biodiesel, podendo figurar, em breve espaço de tempo, como um dos maiores produtores de energia limpa do País.

Atualmente, o Estado conta com 06 usinas implantadas e em operação que somadas representam investimentos de US\$ 1.939.100.000,00 e geração de energia da ordem de 1,314GW. Em fase de instalação são 05 usinas eólicas com investimento de aproximadamente US\$ 4,3bi e total de geração de cerca de 1.443,1GW, conforme boletim (ABEOLICA JAN 2018).

A implantação de empreendimentos voltados para exploração de energias renováveis representa um avanço significativo na matriz energética brasileira, com respeito ao meio ambiente e como verdadeira contribuição ao desenvolvimento sustentável de longo prazo, além de adequação às políticas urbanísticas e de preservação ambiental, modernização e ampliar a infraestrutura, melhorar a qualidade dos serviços. Sem falar na inovação e experiência de operadores internacionais que certamente podem concorrer como players de maior capacidade de investimento e competitividade na indústria mundial de geração de energia.

O Piauí segundo o Conselho Regional de Engenharia do Piauí (CREA-PI) subiu do 5º para 3º maior produtor de energias renováveis do Brasil, de acordo com os dados referentes ao Balanço Energético Nacional 2020 (ano base 2019). O estado ultrapassou o Ceará e o Rio Grande do Sul e está atrás apenas dos estados da Bahia e Rio Grande do Norte.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de natureza qualitativa, pois é uma abordagem metodológica que busca compreender e interpretar fenômenos sociais e humanos por meio de avaliação de dados não numéricos principalmente pela análise de conteúdo textual (GONÇALVES, 2019). Esta pesquisa concentra-se na compreensão das perspectivas e significados subjacentes ao fenômeno estudado de projetos sustentáveis na produção de energia renovável, permitindo uma exploração profunda e contextualizada sobre o tema em questão; a pesquisa busca capturar a complexidade e a subjetividade desse fenômeno social, permitindo uma compreensão holística do contexto estudado.

A estrutura do presente trabalho foi organizada com base em uma revisão bibliográfica elaborada a partir da utilização de materiais publicados como artigos científicos, livros, monografias, informações de sites de governo do Piauí e órgãos internacionais, publicações técnico-científicas a fim de embasar e dar solidez e coerência como objetivo do presente trabalho. Para Cervo, Bervian e Silva (2007), a pesquisa bibliográfica se constitui de um método procedimento básico para os estudos de pesquisas, onde se busca o domínio das produções bibliográficas sobre determinado tema.

Um dos objetivos principais consiste em fornecer uma visão panorâmica e entender como se planeja a implementação de usinas para a produção de hidrogênio verde no estado do Piauí e seus possíveis impactos no cenário econômico e social do Piauí estado principalmente observando do aspecto da viabilidade econômica. Com isso buscou-se estudos onde há projetos também de implementação de usinas de hidrogênio verde principalmente em outros estados brasileiros como nos estados do Ceará, Pernambuco, Rio de Janeiro e países estrangeiros como a China, União Europeia, Estados Unidos seus projetos e perspectivas.

Os dados foram coletados por fontes bibliográficas disponível nas bases de consulta SCIELO (Scientific Electronic Library Online e Google Acadêmico. A análise das publicações foi feita por uma pesquisadora para selecionar os que se enquadram na problemática estabelecida. Os resultados foram apresentados por meio da descrição dos principais achados após análise e por meio de um quadro sinóptico demonstrativo que caracteriza cada artigo de acordo com o autor, metodologia e principais resultados encontrados.

Como critérios de inclusão foram selecionados artigos publicados em língua portuguesa, publicações nacionais no intervalo temporal de 2019 a 2024 que abordem o tema em discussão e utilizando-se as palavras chave “hidrogênio verde”, “viabilidade econômica” e “energia

renovável”. Os resultados do trabalho foram organizados em tabelas semiestruturadas com os principais achados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos dados coletados buscou-se fazer um comparativo dos artigos científicos e publicações através de um quadro sinóptico sobre os principais trabalhos sobre a presente temática, quais foram os principais resultados e conclusão.

Quadro 2 – Análise de artigos como tema hidrogênio Verde

AUTOR/ ANO	METODOLOGIA	RESULTADOS	CONCLUSÃO
AZEVEDO, João Vitor de Freitas. Estudo dos impactos de instalação de unidades de produção de hidrogênio verde	Foi realizada uma investigação sobre o potencial brasileiro de produção de hidrogênio verde, considerando as fontes de energia disponíveis e a infraestrutura necessária para sua produção em larga escala. Além disso, foi analisado o papel desse combustível na diversificação da matriz energética, bem como a avaliação de sua relevância no contexto da sustentabilidade no país.	Essa análise permite assim avaliar a viabilidade atual dessa tecnologia e seu potencial para impulsionar o desenvolvimento econômico sustentável. Ao longo do trabalho foram analisados dados apresentados por quatro empresas do segmento de hidrogênio verde, de modo a fornecer um panorama prático sobre as estratégias adotadas e os resultados alcançados por essas organizações	Para embasar a pesquisa foram utilizadas diversas fontes e literaturas especializadas no assunto. Ao final, o estudo propõe-se identificar oportunidades e desafios relacionados a implantação dessa nova tecnologia e seu potencial para transformar a sociedade, impulsionando a transição para uma economia mais sustentável e de baixo carbono.
LIMA, Ana Carolina Oliveira. Hidrogênio verde: principais perspectivas do cenário energético no Nordeste brasileiro. 2023	A pesquisa é baseada em uma revisão de literatura acerca do hidrogênio verde, abordando suas características gerais, aplicações e panorama no contexto global, nacional e regional, focado no Nordeste brasileiro	Uma das estratégias em curso para manter o desenvolvimento econômico de forma sustentável é promover a transição energética para matrizes renováveis, sendo o hidrogênio verde uma das principais alternativas para impulsionar a	Diante do apresentado, o Nordeste brasileiro possui um futuro promissor na produção do hidrogênio verde e no seu estabelecimento como um polo de geração renovável de matriz múltipla. Essa perspectiva é embasada

		descarbonização. Este trabalho apresenta um panorama da produção de hidrogênio verde no Nordeste Brasileiro a partir da análise do potencial energético da região, dos projetos em andamento e dos desafios e oportunidades que a região possui.	principalmente pelas condições climáticas da região serem favoráveis a produção de energia eólica e fotovoltaica, principais fontes de energia para a produção de hidrogênio verde
RIBEIRO FILHO, Sérgio da Silva. Avaliação dos impactos econômicos, sociais e ambientais da produção de hidrogênio verde com ênfase no processo de fermentação anaeróbia. 2022	Para isso foi realizada uma revisão bibliográfica com pesquisas em artigos científicos, dissertações e outras fontes confiáveis que abordavam o tema discutido, esses materiais foram buscados no google acadêmico, scielo e livros.	Após ler e analisar diversos textos e dados encontrados percebe-se que o processo de produção de hidrogênio por fermentação anaeróbia é ambientalmente interessante, tendo em vista a possibilidade de utilização de resíduos agroindustriais como substratos que muitas vezes são descartados no meio ambiente, ou até mesmo subaproveitados. Porém, seu custo ainda é muito elevado quando comparado principalmente aos processos que usam combustíveis fósseis. Por isso, há a necessidade do estudo e desenvolvimento de ferramentas e otimização do	Constatou-se também o importante papel social que esse processo exerce em uma comunidade integrando-a. Por isso a importância dessa revisão

		processo de produção do H ₂ fermentativo.	
BEZERRA, Francisco Diniz. Indústria: Hidrogênio verde: oportunidade para o Nordeste. Fortaleza: BNB, n. 320, dez. 2023	A produção de hidrogênio verde, ainda incipiente, tende a crescer exponencialmente nos próximos anos. Para que isto se torne realidade, serão necessários vultosos investimentos em toda a sua cadeia produtiva, gerando oportunidades para dinamização da economia.	De olho nesta realidade, mais de 30 países já estabeleceram planos nacionais de hidrogênio de baixo carbono e de H ₂ V com vistas a sediar parcela expressiva dessa nova indústria, gerando uma verdadeira corrida contra o tempo.	Apesar da existência de inúmeros memorandos de entendimento (MoU) para implantação de indústrias de H ₂ V no Brasil, especialmente no Nordeste, que somariam dezenas de bilhões de dólares em investimento, caso implementados, o País ainda carece de um marco regulatório que enseje segurança jurídica aos investidores e definição de benefícios que estimulem a atração desses empreendimentos, a exemplo do que estão fazendo outros países. Se não agir tempestivamente, o País perderá uma grande oportunidade de dinamização de sua economia
BORGES, Ana Caroline Fernandes Hidrogênio verde: alternativa para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e contribuir com a transição energética / Ana Caroline Fernandes Borges. -- Rosana, 2022	Apesar dessas significativas características, alguns pontos vinculados à produção e estocagem do gás hidrogênio em larga escala, devem ser otimizados a fim de tornar o combustível competitivo no mercado global.	Este trabalho discute o processo de produção do hidrogênio verde mediante eletrólise, as fontes renováveis de energia utilizadas, como a energia eólica, solar e hidráulica, os processos de armazenamento em estado sólido, líquido e gasoso, e o	Assim como as aplicações do combustível, cenário atual, incluindo os projetos de usinas em andamento e perspectivas para expansão e estabilidade do hidrogênio verde como “vetor energético” do futuro.

		transporte adequado para cada situação e estado físico do combustível.	
--	--	--	--

Fonte: desenvolvida pelo autor, 2024

Segundo o estudo de Azevedo (2023), alguns riscos devem ser considerados durante o planejamento. O risco de mercado na produção de hidrogênio verde considera as flutuações nos preços das matérias-primas e nos mercados de energia. Variações nos preços do gás natural, eletricidade e outros insumos podem afetar significativamente os custos de produção do hidrogênio verde. Além disso, a demanda pelo hidrogênio verde pode ser influenciada por políticas governamentais, avanços tecnológicos e preferências dos consumidores. Esses fatores podem afetar a viabilidade econômica dos projetos de produção de hidrogênio verde e introduzir incertezas no mercado.

O artigo publicado por Bezerra (2023) indica que o H2 Verde só tornar-se-á competitivo em termos de preço a partir de 2030 para efeitos práticos. Contudo, é importante destacar que o desenvolvimento da energia eólica e solar teve um crescimento surpreendente nos últimos anos, superando as projeções anteriores. Portanto, é possível que ocorra um cenário semelhante com o H2 Verde no Brasil, com um rápido desenvolvimento e adoção da tecnologia.

Bezerra (2023) ainda levanta um ponto importante que diz respeito às diversas oportunidades exploradas pelo hidrogênio convencional. No entanto, para que o H2V se desenvolva no mercado brasileiro, é necessário aumentar sua competitividade, avançar em tecnologia, precificar corretamente as emissões de carbono e implementar políticas públicas favoráveis. No curto prazo, de 1 a 2 anos, o autor acredita que seja improvável que essa fonte energética expanda suficientemente para aproveitar as oportunidades devido, sobretudo, ao seu alto custo, infraestrutura limitada e escala ainda restrita em comparação com as alternativas convencionais. Isso exigirá uma abordagem proativa do governo e um grande interesse e confiança por parte dos investidores e agentes do mercado.

A sustentabilidade da eletrólise como método de produção do hidrogênio verde é outro aspecto crucial a ser destacado. A eletrólise da água não emite gases de efeito estufa contribuindo para a diminuição da liberação destes gases na atmosfera. Ademais, a combustão do hidrogênio não resulta em emissões de CO₂, mas sim na liberação de energia e água, alinhando-se com as metas ambientais globais (JÚNIOR et al., 2023). Esse aspecto é essencial para cumprir com os compromissos estabelecidos pelo Acordo de Paris, incentivando os países a investir em matrizes energéticas sustentáveis, seja por meio da exportação ou importação de hidrogênio verde.

O hidrogênio verde é caracterizado como um combustível 100% sustentável, devido a ausência de emissão de gases poluentes durante os processos de produção e combustão, trata-se também de um combustível versátil, podendo ser armazenado nos estados sólido, líquido e gasoso, além da versatilidade no armazenamento, o hidrogênio verde possui ampla aplicabilidade, podendo ser convertido em eletricidade ou combustíveis sintéticos, como a amônia, e utilizado com finalidades comerciais, industriais e de mobilidade. No entanto, o hidrogênio verde é uma fonte de energia com utilização e investimento recente, sendo necessário melhorias em alguns aspectos, como a redução do custo de produção, redução do gasto de energia, otimização dos processos de transporte e armazenamento, a fim de atender às características do hidrogênio, elevada volatilidade e inflamabilidade, que podem ocasionar escapamento do combustível e explosões.

O hidrogênio verde tem recebido atenção especial e investimento em todos os continentes do mundo, projetos e usinas estão em desenvolvimento, com início das operações programadas para os próximos anos, dessa forma conclui-se que a sua participação na matriz energética global tende a sofrer um grande avanço, justificando o título que tem recebido, o combustível do futuro.

O hidrogênio verde está emergindo como uma solução promissora para enfrentar os desafios da transição energética e reduzir a dependência de combustíveis fósseis. O aumento da produção e adoção do hidrogênio verde traz consigo inúmeras vantagens, como a redução das emissões de gases de efeito estufa, a diversificação da matriz energética, o impulso à economia sustentável e a criação de empregos verdes. No entanto, apesar desse grande potencial, ainda existem desafios a serem superados, como a redução dos custos de produção, o desenvolvimento de infraestrutura adequada, disponibilidade hídrica compatível com a capacidade produtiva esperada e a garantia de uma matéria-prima viável, que é a energia elétrica verde.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou uma abordagem geral do hidrogênio e suas aplicações, bem como seus desafios e oportunidades nos avanços de implementação no Nordeste Brasileiro. Com isso, tornou-se evidente o potencial energético que essa região possui para alcançar o mercado de produção e exportação do hidrogênio verde.

Foi mostrado nesse trabalho os panoramas global, nacional e nordestino da produção desse combustível. A partir disso, foi observado que o Nordeste desponta como a região brasileira com avanços mais significativos de produção e comercialização do hidrogênio verde. Isso se deve ao fato de que essa é a região mais promissora para ser líder nacional de produção e exportação desse combustível no futuro.

No Piauí há projetos de implementação de usinas de hidrogênio verde no município de Parnaíba, onde será instalado o Hub mais precisamente na Zona de Processamento de Exportações-(ZPE) onde o governo do estado pretende implantar um complexo de empresas que produzam o hidrogênio verde. Estima-se que com o investimento de 200 milhões a implantação de duas usinas da companhia europeia as obras gerem mais de 20 mil empregos. O objetivo inicial da produção de hidrogênio verde em solo piauiense é exportar para a União Europeia. Deste modo a implementação de Usinas gerará impactos diretamente na economia do estado e redução dos impactos ao meio ambiente.

Acerca dos desafios de implementação do hidrogênio verde, os principais pontos de atenção são os custos de produção, a competitividade com o hidrogênio cinza, que possui produção mais consolidada e custos menores para serem produzidos, bem como a falta de uma estrutura adequada no Brasil para transporte eficiente de hidrogênio. Apesar disso, o hidrogênio verde tem recebido atenção tanto governamental, quanto empresarial para seu desenvolvimento, o que é indicativo de que apesar desses desafios, há um importante potencial tecnológico e econômico para a produção desse combustível.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, Júlia Finanmor; GARCIA, José Vitor da Silva. **Hidrogênio verde: estudo de caso do Brasil**. 24-Ago-2022.TCC Universidade Federal do Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2022.

BARBIERI, José Carlos et al. **Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições.** Artigos • Rev. adm. empres. 50 (2) • Jun 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-7590201000020000>

BARON, R. A.; SHANE, S. A. **Empreendedorismo: uma visão do processo.** São Paulo: Cengage Learning, 2013

BRASIL. Ministério Da Ciência, Tecnologia, Inovações E Comunicações. **Estratégia. Estratégia Nacional De Ciência, Tecnologia E Inovação (Encti) 2016-2022.** Disponível em: <http://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/990>

MANUAL DE OSLO: **Diretrizes para a coleta e interpretação de dados sobre inovação.** 2 edição. Paris: OCDE, 1997. ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/a-finep/biblioteca/manual_de_oslo.pdf

ARGÔLO, Leilane Alves de; SIMÕES, Livia Santos; BUCK, Thomas de Araujo **INOVAÇÃO COMO ESTRATÉGIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL PRATICADO PELAS EMPRESAS.** RISUS - Journal on Innovation and Sustainability Volume 4, número 3 – 2013

SEBRAE, **A importância da inovação para o desenvolvimento sustentável.** Acesso em: 9 de Janeiro de 2024. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/conteudos/posts/a-importancia-da-novacao-para-o-desenvolvimento-sustentavel,58fa9a678cfc4810VgnVCM100000d701210aRCRD>.

GONÇALVES, Jonas Rodrigo. **Como fazer um Projeto de Pesquisa de um Artigo de Revisão de Literatura.** Revista JRG de Estudos Acadêmicos, Ano II, Vol.II, n.5, 2019.

VEJA, Mercado. **As companhias europeias Green Energy Park e Solatio deverão investir R\$ 200 milhões ao longo dos próximos anos, com geração de mais de 20.000 empregos.** Acesso em: 09 de Janeiro de 2024. Disponível em: https://veja.abril.com.br/coluna/radar/piaui-vai-receber-duas-maiores-usinas-de-hidrogenio-verde-do-mundo?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=eda_veja_audiencia_institucional&gad_source=1&gclid=CjwKCAiA-vOsBhAAEiwAIWR0TVjwk3MghuPIrwu4lIDp3GwD2V4DDSTYWR9Td7ifwtZyn0gpRIvWwBoCnKMQAvD_BwE

VC S/A. **Companhia brasileira investe em inovação por uma transição energética justa.** Acesso em: 09 de Janeiro de 2024. Disponível em: https://vocesa.abril.com.br/economia/os-passos-da-petrobras-em-direcao-ao-futuro/?utm_source=pushnews&utm_medium=onsite-pushnotification

ALEPI. **Aneel autoriza mais oito usinas eólicas no Piauí.** Acessado em: 09 de Janeiro de 2024. Disponível em: - <https://www.al.pi.leg.br/radio/noticias-radio/aneel-autoriza-mais-oito-usinas-eolicas-no-piaui>

GOVERNO DO PIAUÍ. Acessado em: 09 de Janeiro de 2024. Disponível em :
<https://antigo.pi.gov.br/noticias/piaui-e-terceiro-do-brasil-na-producao-de-energias-renovaveis-eolica-e-solar/>

IBGE. Acesso em: 09 de Janeiro de 2024. Disponível em:
<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6377#resultado>

IBGE. Acesso em: 09 de Janeiro de 2024. Disponível em:
<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6592#resultado>

BRASIL, GOV.BR. **Piauí lança pedras fundamentais de projetos de hidrogênio verde** — Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. Acessado em 09 e janeiro de 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2023/dezembro/piaui-lanca-pedras-fundamentais-de-projetos-de-hidrogenio-verde#:~:text=O%20projeto%20prev%C3%AA%20a%20exporta%C3%A7%C3%A3o,das%20obras%20ainda%20em%202024>

COMISSAO EUROPEIA. **REPowerEU: Ação europeia conjunta para uma energia mais acessível, segura e sustentável.** *European Commission website*. Franca, 08 mar. 2022. Disponível em:

98

<https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pt/ip_22_1511>. Acesso em : 23 de março.2024

PARLAMENTO EUROPEU. **Política energética: princípios gerais.** Disponível em:<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/pt/sheet/68/politica-energetica-principios-gerais>

DE MELO, Rodrigo Rocha. **Perspectivas do Hidrogênio Verde e e-Combustíveis no Brasil: Uma Breve Revisão da Literatura.**

LUBE, Filipe. **Energia do Hidrogênio : Mudanças Paradigmáticas Rumo á uma “Economia Verde” no Brasil/** Filipe Lube. – 2012

ETZKOWITZ, H., & ZHOU, C.. (2017). **Hélice Tríplice: inovação e empreendedorismo universidade-indústria-governo.***Estudos Avançados*, 31(90), 23–48.
<https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.3190003>

Fonte: Catálogo da ABNT (2022).

AZEVEDO, João Vitor de Freitas. Estudo dos impactos de instalação de unidades de produção de hidrogênio verde. 2023. 53 f. TCC (Graduação em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

LIMA, Ana Carolina Oliveira. Hidrogênio verde: principais perspectivas do cenário energético no Nordeste brasileiro. 2023. 61 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023

BEZERRA, Francisco Diniz. Indústria: Hidrogênio verde: oportunidade para o Nordeste. Fortaleza: BNB, n. 320, dez. 2023. (Caderno Setorial Etene)

RIBEIRO FILHO, Sérgio da Silva. Avaliação dos impactos econômicos, sociais e ambientais da produção de hidrogênio verde com ênfase no processo de fermentação anaeróbia. 2022. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

BORGES, Ana Caroline Fernandes Hidrogênio verde: alternativa para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e contribuir com a transição energética / Ana Caroline Fernandes Borges. -- Rosana, 2022 66 p. : il., tabs

LÚCIO, Daniel Gil. Inserção do hidrogênio verde no mercado brasileiro de energia elétrica. Disponível em: <https://www.osetoelettrico.com.br/insercao-do-hidrogenio-verde-nomercado-brasileiro-de-energia-eletrica/>. Acesso em: 26 maio 2024.