



Fortaleza, Ceará
Centro de Eventos do Ceará

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY

Optimizing renewable energy: advanced strategies for enhanced efficiency and sustainability

O DESAFIO HÍDRICO DO HIDROGÊNIO VEDE NO CEARÁ THE WATER CHALLENGE OF GREEN HYDROGEN IN CEARÁ

Autores: Júlia Maria Araújo Queiroz¹, Luís Guilherme Tavares Santos²

¹Universidade Federal do Ceará (UFC) – qjulia428@gmail.com; ²Universidade Federal do Piauí (UFPI) – luis.tavares@ufpi.edu.br

RESUMO

O artigo avalia a sustentabilidade hídrica da produção de hidrogênio verde (H2V) no Ceará, considerando as condições climáticas semiáridas, a disponibilidade limitada de água e as lacunas normativas. O objetivo é avaliar os impactos das possíveis fontes hídricas desse ciclo produtivo e compreender os desafios legais e institucionais para sua implementação. Trata-se de pesquisa aplicada e qualitativa, com base na análise de legislações, relatórios técnicos, planos governamentais, estudos de impacto ambiental e bibliografia científica especializada. Utilizou-se o estudo de caso do Hub de Hidrogênio Verde no Complexo Industrial e Portuário do Pecém, com abordagem indutiva e foco no uso de água dessalinizada e de reuso. Os resultados indicam que, apesar de avanços tecnológicos e institucionais, persistem incertezas quanto à segurança hídrica. As fontes avaliadas apresentam impactos socioambientais distintos, exigindo planejamento integrado e gestão consciente. Conclui-se que a produção de H2V no Estado do Ceará dependerá de regulamentação específica que assegure uma gestão responsável dos recursos hídricos e o caráter efetivamente “verde” dessa fonte de energia.

Palavras-chave: hidrogênio verde; sustentabilidade hídrica; transição energética; Ceará; regulação ambiental.

ABSTRACT

This article evaluates the water sustainability of green hydrogen (H2V) production in Ceará, Brazil, considering the semi-arid climatic conditions, limited water availability, and existing regulatory gaps. The objective is to assess the impacts of possible water sources in this production cycle and to understand the legal and institutional challenges for its implementation. The research is applied and qualitative in nature, based on the analysis of legislation, technical reports, government plans, environmental impact studies, and specialized scientific literature. A case study of the Green Hydrogen Hub at the Pecém Industrial and Port Complex was carried out, using an inductive approach and focusing on the use of desalinated and reused water. The results indicate that, despite technological and institutional advances, uncertainties remain regarding water security. The evaluated sources present distinct socio-environmental impacts, requiring integrated planning and conscious management. It is concluded that H2V production in Ceará will depend on specific regulation that ensures responsible water resource management and the truly “green” character of this energy source.

Keywords: green hydrogen; water sustainability; energy transition; Ceará; environmental regulation.



1 INTRODUÇÃO

A crise climática-ambiental em curso trouxe urgência ao debate sobre a transição energética que excede barreiras nacionais e exige medidas multilaterais em um novo mapa dos debates sobre energia e clima (Yergin, 2023). Buscando equilibrar o desenvolvimento econômico e a redução das emissões de gases poluentes (GEE), objetivo reconhecido internacionalmente por meio do Acordo de Paris (2015) e da Agenda 2030 (2015), a pauta da descarbonização encontra nas novas fontes de energia renovável uma rota de possível sucesso (ONU, 2015; ONU, 2023; Mota, 2023).

Nesse cenário, os Estados buscam fazer uso das vantagens competitivas que detêm, focando nos seus recursos, condições socioeconômicas e posição no mercado global de energia. No Brasil esse debate promoveu uma renovação interesse no Hidrogênio, visto agora sob nova cor (Verde) (H2V), por meio de um processo de eletrólise da água com energia renovável e livre de emissões, capaz de unir os interesses econômico e a pauta ambiental (Fernandes et al, 2023).

Estudar a viabilidade da inserção dessa nova fonte “verde” na matriz energética brasileira é o objetivo geral do trabalho, cuja viabilidade impôs um recorte geográfico e temático, com foco na sustentabilidade do uso de recursos hídricos utilizados na produção do H2V no Ceará, discutindo os desafios jurídicos e ambientais desse manejo de um recurso crítico (água). Para tanto, divide-se a pesquisa em três momentos: primeiro, a evolução das políticas e legislações nacionais do H2V; seguida pelas avaliações dos impactos ambientais desses projetos (com foco no risco hídrico); e, por fim, a identificação dos desafios inerentes da produção dessa fonte de energia no Estado do Ceará.

Buscou-se responder “quais os desafios jurídicos e impactos ambientais da produção de Hidrogênio Verde no Ceará e quais os caminhos regulatórios exigidos para que esse progresso ocorra de maneira sustentável”. Trata-se uma pesquisa relevante para identificar e debater os riscos ambientais dos projetos de Hidrogênio Verde no Ceará, especialmente no tocante aos recursos hídricos, apontando a necessidade de criação e adaptações na legislação do tema e compilando dados sobre pontos críticos na agenda da transição energética (uso da água) e de regionalização da pesquisa (impactos nos entes subnacionais).



2 METODOLOGIA

A pesquisa é de natureza aplicada e qualitativa, voltada à investigação da sustentabilidade hídrica na produção de Hidrogênio Verde no Ceará. Adota-se uma abordagem indutiva que envolve a análise e interpretação crítica de legislações, políticas públicas, relatórios técnicos e literatura especializada (Feferbaum; Mafei, 2023). O estudo se concentra no caso do Hub de H2V situado no Complexo industrial e portuário do Pecém, avaliando a utilização de água – especialmente de reuso e dessalinizada – nessa cadeia produtiva. O objetivo é identificar padrões, desafios e pontos críticos na regulação ambiental, sobretudo na interface entre transição energética e gestão hídrica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O interesse brasileiro no Hidrogênio não é uma novidade, com registros experimentais ainda no ano de 1990, mas houve uma renovação recente dessa agenda sob novas cores. O potencial da rota “verde” desse recurso deu base ao surgimento de associações setoriais (ABHV, 2017), Hubs regionais (e.g. Pecém, 2021), e ao lançamento de políticas nacionais no setor, cujo principal exemplo foi o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2) em 2021 (Mota, 2023; MME, 2021).

Dentre os eixos do PNH2, consta uma preocupação específica com a regulação (eixo 04), que tem sido respondida com a criação de normas estaduais e federais. Na esfera nacional, a principal novidade é a Lei nº 14.948/2024, que busca disciplinar esse mercado nascente, dispondo sobre incentivos fiscais, exigências técnicas e os modelos de governança dessa produção. Contudo, identifica-se uma lacuna quanto aos riscos desse ciclo produtivo no tocante à esfera ambiental e as impacto potencial desses novos empreendimentos na perspectiva social e de recursos hídricos.

Antecipar esses riscos se torna uma necessidade urgente para assegurar que a transição energética seja desenvolvida de maneira justa, equilibrada e com mitigação das incertezas no setor, aproximando-se da ideia de precaução, essencial no campo ambiental (Matias, 2017). Neste trabalho a preocupação recai especificamente na relação entre a produção de Hidrogênio Verde e o manejo dos recursos hídricos (Fontenelle et al., 2022; Liang, Huang, Ding, 2020).

Considerando que o Hidrogênio Verde designa uma rota de obtenção via eletrólise da água, renova-se a atenção para quais fontes hídricas serão direcionadas a essa produção e como serão



geridas (Beswick et. al, 2021; Oliva Júnior, 2021; Silva, 2023). Visto pela perspectiva geográfica aqui eleita – Ceará – o *valor* da água se torna ainda crítico, ante os desafios de escassez do Estado, erigindo-se como um potencial entrave à indústria nascente (estresse hídrico) (Ceará, 2019; Silva, 2023; Woods, Bustamante, Aguey-Zinsou, 2022).

Avaliando as fontes hídricas que podem ser utilizadas nesses empreendimentos, identifica-se um rol amplo que abarca desde a água de origem marítima, pluvial, subterrânea, até a “água de reuso”. Estudos recentes se debruçaram sobre a viabilidade dessas fontes, apontando que a água do mar e a água de reuso demonstravam o maior potencial para esse fim (Simões et al., 2021). Todavia, na avaliação do uso da água do mar, identifica-se na necessidade de dessalinização uma barreira clara, implicando em aumento dos custos, do consumo de eletricidade e dos impactos ecológicos (alteração do ecossistema marinho e subprodutos poluentes) (Silva, 2023; Simões et al, 2021).

Já a utilização da “água de reuso” é vista como uma rota de alto potencial para abastecer as a produção de H2V, por meio do tratamento terciário dos efluentes urbanos, coordenando o benefício econômico com uma redução do *peso* hídrico e dos impactos ambientais dessa indústria, com subprodutos de menor impacto do que a dessalinização (Woods, Bustamante, Aguey-Zinsou, 2022). Mostra-se, portanto, como uma via promissora, ainda que não seja livre de impactos ambientais, mas cuja balança de ganhos (reduções de GEE) resultaria positiva (Silva, 2023).

Essa preocupação hídrica serve de guia para a reflexão sobre a natureza verdadeiramente “verde” desse Hidrogênio, aqui repercutido na relação entre a água e energia (Mamidi, Marisetty, Thomas, 2021). Transportando essas considerações para o cenário estadual, a empresa *Fortescue* realizou o primeiro Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) voltado ao projeto Hub de Hidrogênio Verde no Ceará localizado no Complexo do Porto do Pecém, com análises nos meios físico, biótico, abiótico e socioeconômico, compilando os impactos ambientais, benéficos e/ou adversos durante as fases de planejamento, instalação e operação desse projeto (Ceará, 2023).

Já nessa avaliação inicial é possível identificar repercussões negativas nos recursos hídricos do Estado, especialmente com alterações na qualidade da água; mas carece de uma análise dos volumes necessários e ao risco de estresse hídrico. Essa dimensão de riscos serve como contraponto ao otimismo oriundo dos relatórios que destacam o potencial do Brasil e do Ceará como Hub nacional para o Hidrogênio Verde (Garcia, 2024; Batagliotti, 2021; MME, 2021).



Surge então um debate contínuo nesse percurso de construção normativo do H2V para o Ceará. De um lado, a promoção dos atributos do Estado para assumir destaque regional e nacional na descarbonização, incluindo a sua posição geográfica privilegiada, a estrutura logística para transporte nacional e exportação, a capacidade já instalada de outras fontes renováveis, a previsão de incentivos fiscais, e a existência de uma Zona de Processamento de Exportação (ZPE). Soma-se a isso os avanços em políticas voltadas à transição energética como o Decreto nº 34.733/2022 criando o “Plano Estadual de Transição Energética Justa do Ceará” (PETEJ) (Mendes, 2024).

A outra face desse debate aponta a insuficiência do arcabouço regulatório e institucional existente a nível nacional e estadual para lidar com desafios da indústria do Hidrogênio Verde, em especial quanto ao manejo dos seus efeitos ambientais, aqui visto sob a lente dos recursos hídricos, parte das barreiras dos projetos de expansão das indústrias de renováveis (Oliva Júnior, 2021).

Os alertas apresentados contribuem para fomentar o debate sobre os principais desafios dessa indústria nascente, dando mostras das lacunas regulatórias existentes, sobretudo no tocante aos recursos hídricos. Os caminhos citados de dessalinização e água de reuso são rotas viáveis, mas com impactos ao meio ambiente que devem ser sopesados com o ganhos que podem trazer, reiterando a importância do tratamento da água nos próximos passos dessa nova energia.

Feitas essas considerações, é primordial equilibrar a busca por energia “limpa” com uma gestão sustentável dos recursos hídricos. Assim, um planejamento holístico, que leve em conta os avanços tecnológicos e as implicações ambientais e sociais, é crucial para garantir que as soluções adotadas sejam eficazes a curto prazo e não criem novos problemas a longo prazo (Silva, 2023).

4 CONCLUSÕES

Observa-se que a produção de Hidrogênio Verde tem evoluído significativamente devido ao aumento das preocupações ambientais e das inovações tecnológicas, mas não o suficiente em relação à regulação, trazendo insegurança quanto à real sustentabilidade desse ciclo produtivo. No tema do manejo hídrico, as diversas rotas possíveis possuem impactos ambientais significativos, ainda que se mostrem promissoras – i.e. água de reuso e via dessalinização.

Portanto, revela-se imprescindível um planejamento coordenado que considere os aspectos jurídicos, ambientais e tecnológicos de forma integrada, cujas repercussões devem ser percebidas



INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY

Optimizing renewable energy: advanced strategies for enhanced efficiency and sustainability

na melhoria do marco regulatório do H2V em construção. Neste artigo, essa urgência de melhorias foi exemplificada pelo desafio do manejo dos recursos hídricos da produção do Hidrogênio Verde no Ceará, cujos questionamentos podem servir de rota para superar as barreiras de escassez de água e consolidar uma produção local que seja efetivamente “Verde” como o nome que propala.

REFERÊNCIAS

Batagliotti, Júlia. Colocando o Brasil no radar do Hidrogênio Verde. **Revista Brasil Alemanha: Especial Hidrogênio Verde**, São Paulo, v. 1, n. 7, p. 26-28, 01 out. 2021. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/d9/97/d9973c83-a742-4039-9e56-3e1c5dcba795/revistabrasilalemanha.pdf. Acesso em: 20 jul. 2025.

Beswick, Rebecca R.; Oliveira, Alexandra M.; Yan, Yushan. Does the Green Hydrogen Economy Have a Water Problem? **Acs Energy Letters**, [S. l.], v. 6, n. 9, p. 3167-3169, 17 ago. 2021. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsenenergylett.1c01375>. Acesso em: 16 jul. 2025.

Brasil. **Lei n. 14.948, de 2 de agosto de 2024**. Dispõe sobre a política nacional do hidrogênio de baixa emissão de carbono e outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 ago. 2024. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/Lei/L14948.htm . Acesso em: 14 ago. 2025.

Brasil. **Programa nacional do hidrogênio: proposta de diretrizes**. Ministério de Minas e Energia: Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-apresenta-ao-cnpe-proposta-de-diretrizes-para-o-programa-nacional-do-hidrogenio-pnh2/HidrogênioRelatíodiretrizes.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2025.

Ceará. **Ceará: atlas eólico e solar**. Fortaleza: Governo do Estado do Ceará, 2019. Disponível em: <http://atlas.adece.ce.gov.br/User?ReturnUrl=%2F>. Acesso em: 10 ago. 2025.

Ceará. **Decreto nº 34.733, de 12 de maio de 2022**. Institui o Plano Estadual de Transição Energética Justa do Ceará – Ceará Verde e dá outras providências. Fortaleza, Ceará: Governadoria do Estado do Ceará, [2022]. Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/ce/decreto-n-34733-2022-ceara-institui-o-plano-estadual-de-transicao-energetica-justa-do-ceara-ceara-verde-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 10 ago. 2025.

Ceará. **Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente - COEMA, Nº3 de 10 de fevereiro de 2022**. Dispõe sobre os procedimentos, critérios e parâmetros aplicáveis ao licenciamento ambiental no âmbito da Superintendência Estadual do Meio Ambiente - Semace para empreendimentos de produção de hidrogênio verde no Estado do Ceará. Governo do estado, 2022. Disponível em: [https://www legisweb.com.br/legislacao/?id=427495#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20os%](https://www legisweb.com.br/legislacao/?id=427495#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20os%20)



Fortaleza, Ceará
Centro de Eventos do Ceará

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENERGY

Optimizing renewable energy: advanced strategies for enhanced efficiency and sustainability

[20procedimentos%2C%20crit%C3%A9rios,verde%20no%20Estado%20do%20Cear%C3%A1.](#)

Acesso em: 05 jul. 2025.

Ceará. **RIMA HUB de Hidrogênio Verde**. Complexo do Pecém-CE, 2023. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1PYqW7BCJ6X5sPullkjis477Tm0JvRN4D/view>. Acesso em: 10 jul. 2025.

Feferbaum, Marina.; Mafei, Rafael (Orgs.). **Metodologia da pesquisa em direito**. 3. ed. São Paulo: SaraivaJur, 2023.

Fernandes, Gláucia; Azevedo, João Henrique de; Ayello, Matheus; Gonçalves, Felipe. **Panorama dos desafios do hidrogênio verde no Brasil**. Rio de Janeiro: FGV Energia, 2023. Disponível em: https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/opinioao_artigo_hidrogenio_verde_matriz.pdf. Acesso em: 14 ago. 2025.

Fontenelle, Ana Luiza *et al.* Temporal Understanding of the Water–Energy Nexus: a literature review. **Energies**, [s. l.], v. 15, n. 8, p. 2851, 13 abr. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/8/2851>. Acesso em: 15 jul. de 2025.

Garcia, Gabriel. Hidrogênio Verde: setor espera lucro de R\$ 75 bilhões até 2030. **CNN Brasil**, 28 jul. 2024. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/politica/hidrogenio-verde-setor-espera-lucro-de-r-75-bilhoes-ate-2030/>. Acesso em: 25 jul. 2025.

HUB de H2V do Ceará: Fortescue apresenta seu primeiro Estudo de Impacto Ambiental. **Governo do Estado do Ceará**, Ceará, 3 ago. 2023. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br/2023/08/03/hub-de-h2v-do-ceara-fortescue-apresenta-seu-primeiro-estudo-de-impacto-ambiental/>. Acesso em: 10 jul. 2025.

HUB de hidrogênio verde do complexo do Pecém. **Complexo do Pecém**, Ceará, 2021. Disponível em: <https://www.complexodopecem.com.br/hubh2v/>. Acesso em: 10 jul. 2025.

Liang, Shizhi; Huang, Yufei; Ding, Tao. Efficiency Evaluation and Projection Improvement of the Industrial Water–Energy Nexus in China Based on Network Data Envelopment Analysis. **Frontiers In Energy Research**, [s. l.], v. 9, p. 1-10, 12 jul. 2021. Frontiers Media SA. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/energy-research/articles/10.3389/fenrg.2021.707922/full>. Acesso em: 16 jul. de 2025.

Mamidi, Varsha; Marisetty, Vijaya B.; Thomas, Ewan Nikhil. Clean energy transition and intertemporal socio-economic development: Evidence from an emerging market. **Energy Economics**, v. 101, 1 set. 2021.

Matias, João Luis Nogueira. “Incerteza, Ciência e Direito: o princípio da precaução na jurisprudência brasileira”. In: Ferreira, Helini Sivini; Leite, José Rubens Morato (Org.). **Temas**



emergentes em jurisprudência, ética e justiça ambiental no Século XXI - Série Prêmio José Bonifácio de Andrade e Silva. São Paulo, Editora Planeta Verde, 2017.

Mendes, Emilia Davi. **Políticas de transição energética justa em nível subnacional**: uma análise crítico-propositiva a partir do plano de transição energética justa do estado do Ceará. 2024. 143 f.: Dissertação (Mestrado em Direito) - Faculdade de Direito, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/76486>. Acesso em: 22 jul. 2025.

Mota, Palloma Daniel de Vasconcelos. **Hidrogenando o desenvolvimento**: uma análise da transição energética do Ceará à luz da abordagem missão-orientada. 2023. 286 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão Pública e Cooperação Internacional, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2023.

Oliva Júnior, José Roberto. **Hidrogênio Verde, perspectivas e regulamentação no Brasil**. Revista Brasil Alemanha: Especial Hidrogênio Verde, São Paulo, v. 1, n. 7, p. 36-38, 01 out. 2021. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/d9/97/d9973c83-a742-4039-9e56-3e1c5dcba795/revistabrasilalemanha.pdf. Acesso em: 20 jul. 2025.

Organização das Nações Unidas (ONU). **Acordo de Paris sobre o Clima**. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/node/88191>. Acesso em: 05 jul. 2025.

Organização das Nações Unidas (ONU). **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em 05 jul. 2025.

Silva, Luis Matheus Tavares. **Avaliação das fontes de água para abastecimento de um HUB de hidrogênio verde no Ceará por meio de dinâmica de sistemas**. 2023. 142 f. Dissertação (Mestrado em Administração e Controladoria) - Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Programa de Pós-graduação em Administração e Controladoria, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/75887/3/2023_dis_lmstsilva.pdf. Acesso em: 18 jul. 2025.

Simões, Sofia G. *et al.* Water availability and water usage solutions for electrolysis in hydrogen production. **Journal Of Cleaner Production**, [s. l.], v. 315, p. 128124, set. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128124>. Acesso em: 01 ago. 2025.

Woods, Philip; Bustamante, Heriberto; Aguey-Zinsou, Kondo-Francois. The hydrogen economy - Where is the water? **Energy Nexus**, [s. l.], v. 7, p. 100123, set. 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100123>. Acesso em: 10 jul. de 2025.

Yergin, Daniel. **O novo mapa: energia, clima e o conflito entre nações**. Tradução de Francisco Araújo da Costa. Porto Alegre: Bookman, 2023.