
DESAFIOS SOCIOAMBIENTAIS DO HIDROGÊNIO VERDE NO CEARÁ: UMA ANÁLISE CRÍTICA DOS ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL

Giovanna de Castro **SILVA**

Doutoranda pela Universidade Federal do Ceará (UFC)

E-mail: giovannac.silva@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0224-1732>

Adryane **GORAYEB**

Professora do Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará (UFC)

E-mail: gorayeb@ufc.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7304-8836>

Recebido
Janeiro de 2026

Aceito
Junho de 2026

Publicado
Junho de 2026

Resumo: O hidrogênio verde (H2V), produzido a partir de fontes renováveis, apresenta-se como alternativa estratégica para a descarbonização industrial. Contudo, sua implantação tem suscitado críticas quanto aos possíveis novos processos de colonialismo energético e questionamentos sobre os impactos político-econômicos e socioambientais. No Ceará, cinco projetos de H2V encontram-se em fase de licenciamento ambiental na área do Hub do Hidrogênio Verde, situada no Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), nos municípios de Caucaia e São Gonçalo do Amarante. Este artigo analisa os possíveis impactos socioambientais e as reconfigurações territoriais associadas a esses empreendimentos, por meio da revisão bibliográfica de estudos secundários e análise qualitativa exploratória de três Estudos De Impacto Ambiental (EIA) relacionados aos

empreendimentos de hidrogênio verde. A pesquisa adotou uma abordagem qualitativa exploratória, combinando revisão bibliográfica e análise documental. O foco principal foi a análise qualitativa de três estudos de impacto ambiental de empreendimentos de hidrogênio verde no Ceará, considerando seus aspectos bióticos, socioeconômicos e ambientais. A investigação identificou implicações e impactos positivos e negativos nas fases de implantação e operação, observando questões relacionadas a uma ampla demanda de uso de água, alterações no meio físicos, socioeconômico, biótico e uma escassa consideração sobre a aceitação social por parte das comunidades tradicionais afetadas. Diante disso, se faz necessária a incorporação de pesquisas e métodos voltados a uma agenda de pesquisa emergente para o desenvolvimento justo das energias renováveis no âmbito do Sul Global, no reconhecimento de todas as partes interessadas, em seus processos de governança e no uso dos recursos naturais.

Palavras-chave: hidrogênio verde; impactos socioambientais; Ceará.

SOCIO-ENVIRONMENTAL CHALLENGES OF GREEN HYDROGEN IN CEARÁ: A CRITICAL ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL IMPACT STUDIES

Abstract: Green hydrogen (H₂V), produced from renewable sources, emerges as a strategic alternative for industrial decarbonization. However, its implementation has raised concerns regarding potential new forms of energy colonialism and questions about political-economic and socio-environmental impacts. In Ceará, five H₂V projects are undergoing environmental licensing within the Green Hydrogen Hub, located in the Pecém Industrial and Port Complex (CIPP), in the municipalities of Caucaia and São Gonçalo do Amarante. This article examines the potential socio-environmental impacts and territorial reconfigurations associated with these projects through a literature review of secondary studies and an exploratory qualitative analysis of three Environmental Impact Studies (EIS) related to green hydrogen ventures. The research adopted an exploratory qualitative approach, combining bibliographic review and document analysis. The main focus was the qualitative assessment of three environmental impact studies of H₂V projects in Ceará, considering biotic, socioeconomic, and environmental dimensions. The investigation identified both positive and negative implications during the implementation and operational phases, highlighting issues related to high water demand, alterations in physical, socioeconomic, and biotic environments, and limited consideration of social acceptance among affected traditional communities. Therefore, the incorporation of research and methods aimed at an emergent research agenda is necessary to ensure the equitable development of renewable energies in the Global South, recognizing all stakeholders in governance processes and the management of natural resources.

Keywords: green hydrogen; environmental impact; Ceará.

DESAFÍOS SOCIOAMBIENTALES DEL HIDRÓGENO VERDE EN CEARÁ: UNA ANÁLISIS CRÍTICA DE LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL

Resumen: El hidrógeno verde (H₂V), producido a partir de fuentes renovables, se presenta como una alternativa estratégica para la descarbonización industrial. No obstante, su implementación ha suscitado críticas respecto a posibles nuevos procesos de colonialismo energético, así como cuestionamientos sobre los impactos político-económicos y socioambientales. En Ceará, cinco proyectos de H₂V se encuentran en fase de licenciamiento ambiental en el área del Hub de

Hidrógeno Verde, situada en el Complejo Industrial y Portuario del Pecém (CIPP), en los municipios de Caucaia y São Gonçalo do Amarante. Este artículo analiza los posibles impactos socioambientales y las reconfiguraciones territoriales asociadas a estos emprendimientos, mediante una revisión bibliográfica de estudios secundarios y un análisis cualitativo exploratorio de tres Estudios de Impacto Ambiental (EIA) relacionados con los proyectos de hidrógeno verde. La investigación adoptó un enfoque cualitativo exploratorio, combinando la revisión bibliográfica y el análisis documental. El foco principal fue el análisis cualitativo de tres estudios de impacto ambiental de emprendimientos de hidrógeno verde en Ceará, considerando sus aspectos bióticos, socioeconómicos y ambientales. La investigación identificó implicaciones e impactos positivos y negativos en las fases de implantación y operación, observando cuestiones relacionadas con la alta demanda de uso de agua, alteraciones en los medios físico, socioeconómico y biótico, y una escasa consideración sobre la aceptación social por parte de las comunidades tradicionales afectadas. Ante esto, se hace necesaria la incorporación de investigaciones y métodos orientados a una agenda de investigación emergente para el desarrollo justo de las energías renovables en el ámbito del Sur Global, el reconocimiento de todas las partes interesadas, sus procesos de gobernanza y el uso de los recursos naturales.

Palabras clave: hidrógeno verde; impactos socioambientales; Ceará.

INTRODUÇÃO

O hidrogênio verde (H2V), produzido a partir de fontes renováveis, desponta como alternativa estratégica para a descarbonização que, por um lado, pode representar fonte energética para a descarbonização industrial (Griffiths *et al.*, 2021), com vários desafios econômicos (Odenweller; Ueckerdt 2025) e por outro autores apontam como uma nova forma de colonialismo (McNelly; Franz 2024; Bringel; Svampa 2024; Tunn *et al.*, 2024) que implicam novas formas de territorialização, transformam espaços terrestres e marítimos e levantam questionamentos sobre impactos político-econômicos e socioambientais, especialmente para as comunidades locais (Tunn *et al.*, 2024; Brannstrom; Gorayeb, 2022).

Brannstrom e Gorayeb (2022) descreveram algumas implicações geográficas possíveis da produção de H2V no Sul Global, em especial o litoral do Ceará, em se tornar apenas uma base de exportação de energia verde para países do Norte Global, a partir da invisibilização de comunidades tradicionais locais impactadas pelos empreendimentos renováveis, como as eólicas onshore e offshore que fornecerão suporte energético à cadeia produtiva do H2V.

O apelo à produção dessa fonte é cada vez mais intensificado no Sul Global, onde a maior parte dos países possui vantagens estratégicas e geográficas que incluem a produção de energias renováveis mais baratas, abundantes e inexploradas (Cezne; Otsuki, 2025). No contexto brasileiro, as dimensões sociais associadas ao hidrogênio verde ainda são pouco exploradas na literatura acadêmica, embora alguns estudos recentes de Caiafa *et al.* (2024) e Brannstrom e Gorayeb (2022),

apontem implicações associadas às dimensões sociais relacionadas ao hidrogênio verde (H2V) no âmbito brasileiro. Isso se deve, em parte, ao fato de que o hidrogênio verde é uma tecnologia em desenvolvimento, o que dificulta a análise das dinâmicas sociais envolvidas. As investigações realizadas até o momento têm enfatizado os desafios técnicos, financeiros e de aceitação relacionados à implementação das economias do hidrogênio, com foco recorrente nas experiências e nos interesses do Norte Global (Hanusch; Schad, 2021).

O Ceará vem sendo destacado como polo estratégico para a produção e exportação de hidrogênio verde, impulsionado por fatores como sua localização geográfica voltada aos mercados internacionais, a conexão logística do CIPP com o Porto de Roterdã, incentivos fiscais e infraestrutura favorável, além da proximidade com a ZPE e parcerias para qualificação profissional e fomento à pesquisa (Freitas, 2024).

O estado do Ceará apresenta, atualmente, cinco projetos em fase de licenciamento ambiental localizados na área destinada ao Hub do hidrogênio verde, junto à Superintendência Estadual do Meio Ambiente – SEMACE (Ceará, 2025). Os projetos se concentram nas áreas do Complexo Industrial e Portuário do Pecém - CIPP, abrangendo os municípios de Caucaia e São Gonçalo do Amarante, no estado do Ceará. Estes preveem a construção de infraestruturas de plantas de produção de hidrogênio verde e amônia, bem como unidades de dessalinização e linhas de transmissão acopladas aos sistemas provenientes de fontes renováveis (Ceará, 2025).

Este artigo tem como objetivo analisar os possíveis impactos socioambientais e as reconfigurações territoriais associadas à implantação de projetos de hidrogênio verde no Ceará, considerando o papel estratégico do Hub do Hidrogênio Verde na transição energética e os riscos socioecológicos decorrentes dessa dinâmica. Para tanto, a pesquisa se fundamenta em revisão bibliográfica e em uma análise documental, com destaque para a leitura crítica de três Estudos de Impacto Ambiental (EIA) relacionados ao setor de produção do hidrogênio verde.

A análise dos documentos técnicos foi orientada por referenciais que discutem os impactos socioambientais e socioecológicos da economia emergente do hidrogênio verde, apoiando-se nos estudos de Tunn *et al.* (2024), bem como nas abordagens sobre injustiças associadas a essa transição energética, destacadas por Fladvad (2023) e por Müller, Tunn e Kalt (2022).

REFERENCIAL TEÓRICO

Na última década, os estudos sobre energia avançaram significativamente ao reconhecer e incorporar a dimensão política nas análises da transição energética (Bridge e Gailing, 2020). Segundo Cezne e Otsuki (2025) o campo da geografia política tem sido uma das mais importantes fontes de pesquisa em ciências sociais sobre o hidrogênio, especialmente no Sul Global.

O Sul Global tem sido retratado como “farol de esperança” para a estratégia europeia de hidrogênio. Contudo, há o risco de que as políticas e os projetos associados acabem reproduzindo lógicas coloniais, racistas e desenvolvimentistas (Kalt; Tunn, 2022). Os estudos têm apontado que as dimensões sociais do hidrogênio verde ainda recebem pouca atenção acadêmica. Uma das razões é o fato de que essa tecnologia permanece em estágio de consolidação, o que pode dificultar a observação de suas dinâmicas sociais. Parte dos estudos tem se concentrado na análise de aceitabilidade de usos específicos voltados para a demanda (Virens, 2024).

De acordo com Vallejos-Romero (2022), a pesquisa sobre hidrogênio verde ainda carece de dados sobre os riscos e impactos sociais e ambientais, o que afeta a sua percepção pública. O autor destaca a ausência de estudos que avaliem como a produção de hidrogênio verde impacta comunidades locais e indígenas, além da falta de participação das autoridades em regiões rurais. Embora os impactos ambientais sejam discutidos, a análise social desses projetos é completamente negligenciada, evidenciando a necessidade de incluir fatores econômicos e políticos na avaliação.

Embora o hidrogênio verde seja frequentemente promovido sob a narrativa do desenvolvimento sustentável, diversos estudos têm apontado que sua produção no Sul Global se aproxima mais de uma lógica de extrativismo verde (Dunlap; Verweijen; Tornel, 2024; Kalt *et al.*, 2023). Esse extrativismo acompanha a expansão da fronteira de *commodities* do hidrogênio, caracterizada pela apropriação crescente de energia renovável, terra e recursos hídricos para viabilizar a produção (Kalt; Tunn, 2022). As amplas demandas por terra, água e energia, em uma economia do hidrogênio verde estruturada em megaprojetos e orientada pelo capital, tendem a reproduzir padrões históricos de exploração e extração (Tunn *et al.*, 2024).

O tema do hidrogênio verde, embora promissor, não está isento de desafios socioambientais e éticos. Conforme Müller, Tunn e Kalt (2022), as injustiças não são meramente acidentais, mas sim o produto de uma interação complexa entre as dinâmicas da economia global do hidrogênio e as particularidades políticas e sociais de cada nação produtora. Nessa perspectiva, o modelo de negócio que prioriza a exportação para nações desenvolvidas, por exemplo, eleva o risco de injustiças ao não considerar a fundo as condições locais.

Tunn *et al.* (2024) realizaram um estudo que utiliza uma análise de risco socioecológico para avaliar os impactos da produção de hidrogênio verde no Sul Global, considerando aspectos relacionados à energia, à água, ao meio ambiente e às injustiças socioambientais. Nesse contexto, os autores definem riscos socioecológicos como a probabilidade e a severidade de efeitos adversos resultantes da interação entre processos sociais, ecológicos e político-econômicos, com atenção especial às dimensões energética, hídrica e de injustiça ambiental.

Müller, Tunn e Kalt (2022) examinaram as parcerias de hidrogênio da Alemanha com países africanos, como Marrocos e Namíbia, alertando que esses acordos podem criar injustiças em vez de promover uma transição energética justa. Segundo os autores, a falta de uma abordagem sistemática da justiça energética pode gerar injustiças interdependentes nos países produtores. Os autores identificaram riscos significativos, incluindo a piora da pobreza energética, a escassez de água em regiões já secas, o deslocamento de comunidades, a ameaça aos meios de subsistência de povos indígenas e o reforço de regimes autoritários (Müller; Tunn; Kalt, 2022).

Os autores também reforçam que o planejamento da produção de hidrogênio pode impactar a vida e a subsistência das pessoas. Eles afirmam que as injustiças relacionadas a esse processo estão ligadas a desigualdades estruturais já existentes, como a economia global desigual, violações de direitos trabalhistas e a desigualdade de gênero (Müller; Tunn; Kalt, 2022).

Caiafa *et al.* (2024) identificaram vários riscos geopolíticos no desenvolvimento do hidrogênio verde no Brasil. Eles alertam que a produção para exportação pode levar ao atraso na transição energética local e ao aumento da dependência externa. Essa situação também pode gerar uma estrutura competitiva entre os países produtores e exportadores de hidrogênio.

A perspectiva de outros países sul-americanos é igualmente relevante. Por exemplo, na Colômbia, Dietz, Dorn e Schneider (2025) têm analisado as dinâmicas, estratégias e os possíveis conflitos associados à transição energética baseada no hidrogênio verde. Os autores destacam como essa transição pode representar tanto uma oportunidade de desenvolvimento sustentável quanto um potencial mecanismo de colonialismo ecológico, evidenciando as dinâmicas de poder e as tensões socioambientais que se desenrolam nesse contexto.

Conforme o artigo de Vallejos-Romero *et al.* (2022), o hidrogênio verde tem levantado preocupações ecológicas e sociais. Os autores citam Emodi *et al.* (2021) para afirmar que a aceitação dessas tecnologias é influenciada por uma série de fatores, como o conhecimento inicial do público, aspectos demográficos, a segurança energética, as regulamentações, a análise de custos

e benefícios, políticas, a consciência ambiental, os métodos de produção, armazenamento e aplicação, a proximidade das instalações, além da confiança e da comunicação.

METODOLOGIA

A metodologia deste artigo fundamenta-se em uma abordagem qualitativa de caráter exploratório, fundamentada em revisão bibliográfica e análise documental. Inicialmente, realizou-se uma revisão de literatura em bases como *Science Direct*, com foco em estudos críticos no campo da ecologia política, especialmente aqueles relacionados ao extrativismo verde, colonialismo energético e aos riscos socioecológicos associados à transição do hidrogênio verde no Sul Global. Foram consultados artigos acadêmicos, teses, dissertações e documentos institucionais, além de atos normativos nacionais e estaduais pertinentes às recentes iniciativas de hidrogênio verde no Brasil e, em particular, no Ceará.

O eixo principal da investigação consistiu na análise qualitativa de três Estudos de Impacto Ambiental (EIA) relacionados a empreendimentos de hidrogênio verde no estado do Ceará: EIA I – Hub de Hidrogênio Verde (Processo nº 03169162/2022); EIA II - Planta de produção de Hidrogênio Verde - (Processo nº 06638651/2022); EIA III: Planta de produção de Hidrogênio Verde (Processo nº 06011030/2023). Esses documentos foram obtidos por meio de consultas ao site da Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), utilizando códigos de atividades e processos registrados entre 2022 e 2024 (Ceará, 2025).

A análise concentrou-se nos diagnósticos contidos nos estudos, especialmente nos aspectos bióticos, socioeconômicos e ambientais, com o objetivo de identificar possíveis implicações dos empreendimentos em curso e relacioná-las às reflexões presentes na literatura acadêmica sobre o hidrogênio verde.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O hidrogênio verde no cenário energético contemporâneo

Conforme as últimas atualizações do Projeto de Decisões, resultado do primeiro balanço global, apresentado na Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP28), realizada em Dubai, nos Emirados Árabes Unidos em novembro/dezembro de 2023, a produção de hidrogênio de baixo carbono está entre as principais iniciativas para acelerar a implantação de tecnologias com zero ou baixo teor de carbono. Essas tecnologias incluem, mas não se limitam a

fontes de energia renováveis, energia nuclear e soluções de redução e eliminação de carbono, como a captura, uso e armazenamento de carbono, com foco especial em setores de difícil descarbonização (UNFCCC, 2023).

Segundo Cezne e Otsuki (2025), o número de projetos de produção de hidrogênio limpo cresceu de forma acentuada nos últimos anos. Em outubro de 2024, havia cerca de 2.400 projetos em andamento no mundo, dos quais aproximadamente 650 estavam planejados para o Sul Global. Os autores notam que países como Brasil, Chile e Namíbia já desenvolveram planos e estratégias ambiciosas para o setor, o que demonstra o impulso sem precedentes que a área tem recebido.

O crescente interesse pelo hidrogênio verde está diretamente ligado à recuperação econômica pós-pandemia de 2020. Fatores como a criação de novas políticas energéticas e industriais focadas na descarbonização, e a recente crise energética europeia causada pela guerra entre Ucrânia e Rússia, também impulsionaram o setor (Chantre *et al.*, 2022; Wiertz; Kuhn; Mattisek, 2023). Além disso, o compromisso de diversos países e de grandes players dos setores financeiro e de energia em alinhar a recuperação econômica à meta de emissões líquidas zero até 2050 tem fortalecido ainda mais esses esforços (McNelly; Franz, 2024).

O hidrogênio verde tem recebido investimentos expressivos e vem passando por um processo acelerado de desenvolvimento em escala global. No continente europeu, a União Europeia assume posição de destaque ao estabelecer a meta de instalar 40 GW de capacidade em eletrolisadores até 2030, considerados essenciais para a produção de hidrogênio. A Estratégia de Hidrogênio da Comissão Europeia projeta, ainda, a consolidação de uma economia baseada nesse energético até 2050, com ênfase no hidrogênio verde. Entre os países que lideram essas ações destacam-se Alemanha, França e Países Baixos. Paralelamente, o continente asiático também ganha protagonismo no setor, impulsionado por investimentos significativos realizados por Japão, Coreia do Sul e China (Algburi *et al.*, 2025).

No caso do Brasil, os investimentos seguem a tendência de crescimento observada em escala internacional, e o país tem sido apontado como um dos potenciais líderes mundiais na produção de hidrogênio verde (Gurlit, *et al.*, 2021), sobretudo pela ênfase em iniciativas voltadas à exportação. Entretanto, a maior parte do hidrogênio atualmente produzido no território nacional ainda provém da reforma do gás natural, caracterizando-se como hidrogênio cinza (Chantre *et al.*, 2022). Essa rota produtiva encontra-se consolidada no país devido à ampla disponibilidade de gás natural e ao domínio tecnológico já existente nesse processo (Collaço *et al.*, 2024).

O país ainda dispõe de uma matriz energética de origem predominantemente renovável, com destaque para a fonte hídrica. As fontes renováveis representam 89% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável. De acordo com os dados do Balanço Energético Nacional de 2024, em relação ao ano de 2023, a geração de energia eólica teve um aumento de 14 TWh, seguindo do crescimento da geração solar fotovoltaica, que apresentou um crescimento de mais de 20 TWh (EPE, 2023; 2024; ANEEL/ABSOLAR, 2024).

Os investimentos em hidrogênio verde (H2V) no Brasil estão concentrados em portos estratégicos que oferecem a infraestrutura logística necessária para a exportação e a proximidade de centros industriais. O Porto de Pecém (CE), o Porto de Suape (PE) e o Porto de Açu (RJ) são os principais exemplos. Dentre eles, o Porto de Pecém se destaca, atraindo o maior volume de recursos até o momento, com cerca de US\$ 21,4 bilhões (CNI, 2024). Recentemente, o Piauí também se consolidou como um protagonista na economia verde ao iniciar a construção de uma das maiores usinas de H2V do mundo em sua Zona de Processamento de Exportação (ZPE) em Parnaíba (Piauí, 2025).

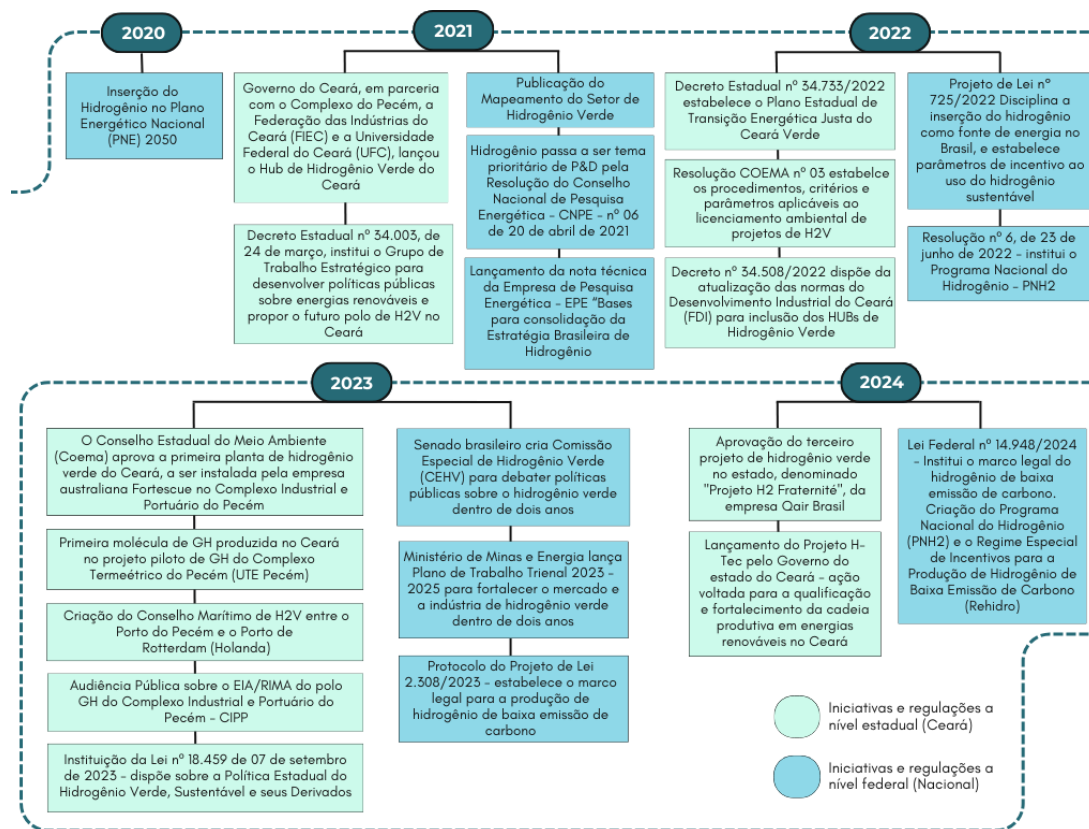
Collaço *et al.* (2024) ressaltam que a infraestrutura energética já estabelecida no Brasil, aliada à logística de transporte e à presença de portos, constitui um diferencial competitivo importante. Esse contexto, somado a uma matriz elétrica mais descarbonizada em comparação a outras economias, cria condições favoráveis para o uso interno do hidrogênio verde, especialmente no setor industrial. Contudo, os resultados apontam que os investimentos privados e estrangeiros continuam direcionados prioritariamente para a exportação, revelando uma assimetria entre o potencial de transição energética nacional e a orientação atual do mercado.

Os caminhos de desenvolvimento do H2V no estado do Ceará e suas articulações no cenário nacional

O ano de 2020 é considerado um marco, devido ao lançamento do Plano Energético Nacional (Brasil, 2020), pelo Ministério de Minas e Energia (MME), que foi responsável por inserir pela primeira vez, o hidrogênio na estratégia energética brasileira. O plano destacou a necessidade de desenvolver políticas e marcos regulatórios que incentivem a adoção de tecnologias associadas ao hidrogênio em toda a sua cadeia de valor, abrangendo produção, transporte, armazenamento e uso final (EPE, 2020). A linha do tempo abaixo apresenta as principais iniciativas e

regulamentações relacionadas ao hidrogênio verde no Brasil e no Ceará, desde 2020 até o período mais recente, em 2024 (Figura 1).

Figura 1 - Linha do tempo de iniciativas recentes relacionadas ao hidrogênio verde no Brasil e no Ceará.



Elaboração: Autora (2025). Adaptado de Freitas (2024).

No ano 2021, foi aprovado o Decreto Estadual nº 34.003, que instituiu o Grupo de Trabalho Estratégico com o objetivo de promover políticas públicas voltadas para as energias renováveis, incentivando o desenvolvimento sustentável e a configuração do primeiro *hub* nacional de hidrogênio verde (H2V) no Ceará. O *hub* está sendo implantado no Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), localizado nos municípios de São Gonçalo do Amarante e Caucaia, a aproximadamente 60 km de Fortaleza. Com uma área de 19 mil hectares, o CIPP é atualmente administrado por meio de uma parceria entre o Governo do Ceará e o Porto de Roterdã, da Holanda, que, desde 2018, detém 30% de participação nas ações do complexo (Ceará, 2018).

O *hub* configura-se como uma parceria de Memorando de Entendimento (MoU) entre o Governo do Ceará e a Associação de Indústrias do Estado do Ceará (FIEC), o Complexo do Pecém (CIPP) e a Universidade Federal do Ceará, com dois objetivos principais: (1) posicionar o estado

como um ator global na produção, distribuição e exportação de hidrogênio verde e simultaneamente, (2) contribuir para a redução das emissões globais de CO₂ e, promover o desenvolvimento socioeconômico, tecnológico e ambiental do Ceará (Caiafa *et al.*, 2024).

Segundo Garlet *et al.* (2023), a criação do *hub* de hidrogênio verde projeta o Brasil no cenário internacional, ao mesmo tempo em que busca consolidar o Ceará como um futuro fornecedor global dessa fonte energética. De acordo com informações da atual gestão estadual, já foram assinados 41 memorandos de entendimento (*Memorandum of Understanding* – MoU) com empresas nacionais e internacionais interessadas na instalação de plantas de produção do combustível. Desses, seis avançaram para pré-contratos firmados diretamente com o Complexo do Pecém (Ceará, 2024).

Em 2022, as iniciativas estaduais se intensificaram com novos investimentos e incentivos financeiros. Foi criada a primeira resolução de licenciamento ambiental para o Hidrogênio Verde no Brasil, a resolução nº 03/2022, aprovada pelo Conselho Estadual do Ceará (COEMA), estabelecendo os procedimentos para o licenciamento ambiental, junto à Superintendência Estadual do Meio Ambiente - SEMACE. Simultaneamente, foi publicado o Decreto Estadual nº 34.733 que criou o Plano Estadual de Transição Energética Justa – Ceará Verde, visando fortalecer a matriz energética de baixo carbono, promover a descarbonização da economia cearense e mitigar os efeitos das mudanças climáticas (COEMA, 2022; Ceará, 2022).

No âmbito estadual, observa-se que o Ceará tem se consolidado como um polo de atração de investimentos, impulsionado por adaptações legislativas que buscam viabilizar e regulamentar as sucessivas investidas dos principais *stakeholders*. Esse movimento se materializa por meio de um conjunto articulado de parcerias institucionais, pesquisas acadêmicas e técnicas, publicações de documentos oficiais, além de discursos e padrões de desenvolvimento que não apenas legitimam, mas também impulsionam as estratégias do estado para fortalecer sua posição no cenário energético e industrial.

Recentemente, em agosto de 2024, após um longo período de discussões, foi sancionada a Lei nº 14.948/2024, que institui o marco legal do Hidrogênio Verde e que dispõe sobre a Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (Brasil, 2024). Segundo a Confederação Nacional da Indústria - CNI, até agosto de 2024, já existem mais de 60 projetos de hidrogênio a partir de fontes renováveis em avaliação no Brasil, já se somam cerca de US\$ 30 bilhões em potenciais investimentos. Com foco nas exportações de produtos produzidos a partir do hidrogênio,

em especial a amônia. A região Nordeste (com 44 projetos em 6 estados), destaca-se com cerca de 2/3 dos projetos brasileiros, seguido a região Sudeste (com 5 projetos em 2 estados) e a Região Sul (com 5 projetos em 2 estados) (CNI, 2024).

O estado Ceará desponta-se pelas diversas iniciativas legais em torno do desenvolvimento e da promoção do uso do hidrogênio verde como fonte energética, motivado pelos potenciais de localização favorável, bem como diversos incentivos tributários e o potencial de geração de energia renovável (CNI, 2024; Caiafa *et al.*, 2024).

Entretanto, o avanço desse setor exige cautela diante de seus potenciais desdobramentos socioambientais. Collaço *et al.* (2024) ressaltam que, embora a produção de H2V seja favorecida pelos abundantes recursos solares e eólicos da região, ela depende de forma significativa da disponibilidade de recursos naturais, em especial da água, um recurso já pressionado nas áreas áridas do Nordeste. Nesse cenário, emergem desafios relacionados à competição com usos essenciais, como por exemplo, o abastecimento humano e a agricultura, conforme apontam os autores.

Análise dos Estudos de Impactos Ambientais – EIA dos projetos de H2V no Ceará

A cadeia produtiva do hidrogênio verde fundamenta-se no consumo elevado de eletricidade oriunda de matrizes renováveis, predominantemente eólica e solar. Contudo, mesmo sustentada no discurso da sustentabilidade, essa dinâmica envolve etapas de geração, armazenamento e transporte que podem produzir impactos ambientais e socioeconômicos expressivos, manifestando-se de forma direta e indireta (IAIA, 2024).

A resolução nº 03/2022, aprovada pelo Conselho Estadual do Ceará (COEMA), que dispõe sobre os procedimentos, critérios e parâmetros aplicáveis ao licenciamento ambiental para empreendimentos de produção de hidrogênio verde no estado do Ceará, enquadra a atividade de produção de hidrogênio verde com um alto potencial poluidor degradador, sendo enquadrados conforme a potência dos eletrolisadores e a capacidade anual de produção. Os portes variam entre micro (até 0,5 MW e menos de 64 t/ano), pequeno (0,5 a 5 MW e 64 a 640 t/ano), médio (5 a 50 MW e 640 a 6.400 t/ano), grande (50 a 500 MW e 6.400 a 64.000 t/ano) e excepcional (acima de 500 MW e mais de 64.000 t/ano) (Ceará, 2022).

No que se refere à exigência de estudos ambientais para os empreendimentos de hidrogênio verde, a resolução determina dois instrumentos principais: o Relatório Ambiental

Simplificado (RAS), aplicável aos projetos de micro e pequeno porte, e o Estudo de Impacto Ambiental acompanhado do Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), obrigatório para empreendimentos de porte médio, grande e excepcional. Além disso, independentemente da categoria de porte, todos os projetos deverão apresentar o Estudo de Análise de Risco, a ser submetido e aprovado pela autoridade competente como parte integrante do processo de licenciamento (Ceará, 2022).

O Ceará possui atualmente cinco projetos em fase de licenciamento ambiental voltados a produção de Hidrogênio Verde, todos concentrados no Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), entre os municípios de Caucaia e São Gonçalo do Amarante. Entre eles, destaca-se a primeira Licença Prévia concedida pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente -SEMACE, referente ao *hub*, autorizando a instalação de empreendimentos e infraestruturas associadas ao hidrogênio verde no CIPP (Ceará, 2025).

Os Estudos de Impacto Ambiental (EIA) analisados no presente artigo, destacam-se os três projetos de hidrogênio verde: EIA I – Hub de Hidrogênio Verde (Processo nº 03169162/2022); EIA II - Planta de produção de Hidrogênio Verde - (Processo nº 06638651/2022); EIA III: Planta de produção de Hidrogênio Verde (Processo nº 06011030/2023). Esses empreendimentos ocupam áreas de 1.331,22 hectares, 135 hectares e 47,72 hectares, respectivamente.

Foram identificados impactos negativos e positivos, tanto nos diagnósticos dos aspectos ambientais quanto nos socioeconômicos, abrangendo as fases de planejamento, implantação e operação dos empreendimentos. De modo geral, o número de impactos negativos presumidos e identificados é superior ao de impactos positivos (Quadro 1). Destacam-se, segundo as análises técnicas realizadas: no EIA I, foram previstos 80 impactos, sendo 29 positivos e 69 negativos (cap. 13, p. 96-109); no EIA II, 293 impactos, dos quais 114 são positivos e 179 negativos (cap. 9, p. 812-828); e no EIA III, 244 impactos, com 100 de natureza positiva e 144 negativa (cap. 12, p. 752-764).

Quadro 1 - Síntese comparativa dos impactos ambientais identificados em três EIA de projetos de hidrogênio verde no Ceará

Ocorrência dos impactos (gerados ou previsíveis)			
EIA I: 80 impactos		EIA II: 293 impactos	
EIA III: 244 impactos			
29 positivos (36,3%)		114 positivos (38,9%)	
51 negativos (63,7%)		179 negativos (61,1%)	
Natureza do impacto			Descrição
Negativos (Fases: Planejament o, Instalação e Operação)	Meio socioeconômico	● Pressão sobre infraestrutura e serviços públicos (saúde, transporte, educação); ● Mercado de trabalho instável: desemprego, informalidade, retração econômica; ● Problemas de saúde pública: aumento de ISTs, ansiedade, conflitos sociais; ● Riscos de perda de patrimônio cultural e arqueológico; ● Saturação de serviços básicos e aumento de acidentes de trabalho; ● Impactos sobre atividades tradicionais, como pesca e comércio local.	Os estudos apontam a possibilidade de pressões significativas sobre as infraestruturas de saúde, transporte, educação e sobre o mercado de trabalho, podendo resultar em desemprego e aumento da informalidade. Além dos riscos associados a problemas de saúde pública, à ocorrência de conflitos sociais e à perda de patrimônio cultural e arqueológico.

	Meio físico e biótico	• Alteração da qualidade do ar, água, solo e aumento de ruídos/vibrações; • Perda e fragmentação de habitats, redução da biodiversidade e aumento da fauna sinantrópica; • Processos erosivos, alterações hidrológicas, costeiras e geomorfológicas; • Risco de contaminação e derramamentos acidentais. • Intervenções em áreas de preservação e desequilíbrios ecológicos; • Aumento da demanda por recursos naturais (água e energia).	Os estudos apontam potenciais impactos negativos relacionados à alteração da qualidade do ar, da água e do solo, bem como à fragmentação e perda de habitats naturais, com possíveis consequências para a redução da biodiversidade. Indicando riscos associados ao aumento da pressão sobre os recursos naturais, à intensificação de processos erosivos e à ocorrência de acidentes ou derramamentos, que podem representar ameaças significativas ao meio ambiente.
Positivos (Fases: Planejamento, Instalação e Operação)	Meio socioeconômico	• Expansão da oferta energética nacional e estímulo ao uso de energia limpa (redução de CO₂); • Geração de empregos diretos e indiretos, ocupação e renda; • Incremento da arrecadação de impostos e dinamização da economia regional; • Desenvolvimento técnico-científico e qualificação profissional; • Novas oportunidades de negócios e melhoria da qualidade de vida.	Os estudos de impacto apontam potenciais benefícios associados à expansão da oferta energética nacional a partir de uma fonte considerada limpa, com destaque para a redução das emissões de CO ₂ . No âmbito socioeconômico, os estudos indicam a possibilidade de geração de empregos diretos e indiretos, incremento da arrecadação tributária e estímulo ao desenvolvimento técnico-científico, bem como à qualificação profissional. Ressalta-se ainda a perspectiva de criação de um ambiente favorável à atração de novos investimentos e à ampliação de oportunidades de negócios.

Fonte: Organizado pelas autoras (2025).

Entre as implicações analisadas nos estudos, destacam-se, no meio físico, as questões relacionadas ao uso e à captação de água, bem como os impactos sobre as áreas naturais de uso e

ocupação do solo (EIA I, cap. 11, p. 709). Esses aspectos merecem atenção nas análises de riscos gerais, especialmente considerando que todos os EIA apontam para uma elevada demanda hídrica, predominantemente suprida por meio da dessalinização da água do mar (EIA I, cap. 5, p. 36; EIA II, cap. 4, p. 136; EIA III, cap. 4, p. 101).

O EIA I, menciona que a água utilizada no processo de eletrólise, poderá prover a água de três formas: água de reuso, dessalinização de água salgada da região do Pecém e outras formas de captação. Segundo os estudos, a água de reuso provavelmente será proveniente do esgoto da cidade de Fortaleza, que chegará na área de ZPE, por meio dos trechos do projeto de integração da transposição do rio São Francisco. Estima-se que serão consumidos cerca de 6,5 milhões de m³/ano de água do mar e 650 mil m³/ano de água de reuso, além de um fornecimento de 2,3 GW (20.148 GWh/ano) (EIA I, cap. 5, p. 36).

Já os EIA II e III também mencionam o aumento da demanda da água como um impacto, principalmente na fase de implantação. O projeto referente ao EIA II, menciona que a água que será captada do mar, a partir de uma planta de dessalinização, terá uma capacidade de captação de cerca de 4.400 m³/h. Já o abastecimento de água na fase de operação do empreendimento, segundo estudo, será suprido pela captação do mar, correspondendo a uma vazão de 106.174 t/d (EIA II, cap. 13, p. 1014).

O EIA III, também menciona sobre captação da água, caso o estudo hidrogeológico aponte baixo potencial hidráulico na região, impossibilitando o atendimento da vazão de água bruta demandada pela planta, o abastecimento poderá ser suprido de forma complementar com água de reuso disponibilizada por empresa fornecedora no CIPP (EIA III, cap. 13, p. 822). O estudo aponta ainda que, durante a fase de operação, a captação de água bruta deverá ocorrer por meio de poços, com a finalidade de produzir água desmineralizada. Para suprir as necessidades do processo produtivo, estima-se um consumo anual de 780.532 m³/ano. (EIA III, cap. 6, p. 137).

Outro ponto a destacar que pode gerar impactos nos ecossistemas marinhos e na pesca, diz respeito ao processo dessalinização, o projeto referente ao EIA II, indica que o principal efluente da planta de hidrogênio será oriundo do processo de dessalinização da água do mar, caracterizado como salmoura concentrada. Estima-se que a geração desse resíduo em aproximadamente 55.318 toneladas por dia, decorrentes do sistema de osmose reversa, cujo funcionamento será contínuo durante a operação da unidade industrial (EIA II, cap. 13, p. 1014).

Segundo Tunn *et al.* (2024) a necessidade de água doce para a produção de hidrogênio verde, especialmente no processo de eletrólise, pode apresentar vários riscos em termos de governança, acessibilidade e disponibilidade e qualidade da água, bem como poluição ambiental que afetam os diversos níveis justiça energética. Já Mendes, Sampaio e Colaço (2024) apontam que dependendo da fonte de água escolhida, a produção de hidrogênio verde no Ceará, pode prejudicar as condições semiáridas da região ou prejudicar a vida marinha, no processo de descarte de água salgada de dessalinização de água do mar.

A produção de hidrogênio verde demanda elevada quantidade de água doce, o que pode agravar problemas de escassez hídrica em regiões áridas e semiáridas (Müller; Tunn; Kalt, 2022; Fladvad, 2023). Conforme destacam Tunn *et al.* (2024), esse processo envolve a extração de água subterrânea, trazendo sérios riscos de esgotamento dos aquíferos e impactos negativos tanto sobre os ecossistemas locais quanto sobre os meios de vida das comunidades. Os autores estimam que, para a produção de 1 kg de hidrogênio verde, são necessários aproximadamente 9 litros de água doce.

Ainda segundo Tunn *et al.* (2024), embora a escassez de água e os conflitos fundiários também estejam presentes no Norte Global, a dependência das importações de H₂V provenientes do Sul Global pelos países industrializados tende a afetar de forma mais severa populações já vulnerabilizadas. Essa dinâmica pode, assim, reforçar um ciclo histórico de injustiças e de exploração ambiental.

Quanto aos aspectos sociais analisados, observa-se de forma crítica uma espacialização dessas comunidades, mas poucas relações com as comunidades indígenas, pesqueiras e quilombolas presentes nas áreas de influência dos empreendimentos. Todos os estudos apresentaram as comunidades que poderão ser impactadas de forma direta e indireta, nos entornos dos empreendimentos, com aplicações de questionários e coleta de dados socioeconômicos mais específicos. Entretanto, as relações construídas com essas comunidades mostram-se superficiais, sem aprofundar suas dinâmicas socioterritoriais. Algumas comunidades nos estudos (EIA I e II) se mostraram preocupadas aos impactos cumulativos já presentes no entorno do CIPP, mencionaram sobre as mudanças negativas de gerar mais poluições, doenças alérgicas e desapropriações de alguns espaços comuns.

Importante mencionar, embora os impactos pontuais descritos nos estudos de impacto ambiental variem em magnitude e temporalidade, manifestando-se em fases específicas dos

projetos, sua análise não deve se limitar à ocorrência desses efeitos. Como destacam Müller, Tunn e Kalt (2022), o verdadeiro potencial do hidrogênio verde de mitigar impactos e beneficiar comunidades depende da incorporação de princípios de justiça em todas as escalas. Assim, a avaliação crítica dos EIA exige considerar não apenas quando e onde os impactos ocorrem, mas também como políticas, governança e participação local podem influenciar a equidade e a efetividade das medidas de mitigação.

Os desafios socioambientais para a produção do Hidrogênio Verde no estado do Ceará

Conforme os dados do Diagnóstico Participativo da zona costeira do Ceará, o estado apresenta cerca de 324 comunidades tradicionais autodeclaradas que habitam as áreas do litoral, são caracterizadas como indígenas, quilombolas ou tradicionais pesqueiras. E que suas atividades econômicas são associadas ao extrativismo, a pesca artesanal e as práticas da agricultura familiar (SEMA, 2024). O Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP) está situado nos municípios litorâneos de São Gonçalo do Amarante e Caucaia, regiões marcadas por territorialidades tradicionais e elevada complexidade socioambiental. Esses territórios vêm enfrentando conflitos e ameaças recorrentes, como a privatização de áreas públicas, cercamentos em praias e lagoas, e a expansão desordenada de empreendimentos e loteamentos turísticos (SEMA, 2024).

Nas áreas previstas para a instalação dos empreendimentos de hidrogênio verde, encontram-se diversos territórios tradicionais, com destaque para os povos indígenas da etnia Anacé. Essas comunidades têm historicamente enfrentado impactos e processos de resistência diante de sucessivos projetos de desenvolvimento implementados na região, incluindo aqueles vinculados ao próprio Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), como a implantação de usinas termelétricas. Tais empreendimentos resultaram, ao longo dos anos, em restrições de acesso às terras, exploração intensiva de recursos naturais, especialmente da água e agravamento da poluição ambiental (Teles, 2021).

Nos estudos de impacto ambiental analisados, observa-se a delimitação de novos territórios destinados à infraestrutura necessária para H2V, ao mesmo tempo em que há poucas considerações e avaliações sobre a aceitação social por parte dos povos tradicionais afetados pelo desenvolvimento da produção de H2V no Ceará. Segundo Araújo e Meireles (2019) os atores de energia renovável constroem narrativas de um território considerado “ideal”, sem conflitos sociais ou impactos ambientais durante a implantação desses empreendimentos, o que contribui para

legitimar os empreendimentos sem incorporar de fato as vozes e as decisões das comunidades diretamente impactadas.

A incorporação da exigência de consulta prévia, livre e informada, prevista na Convenção nº 169 da Organização Internacional do Trabalho (OIT) sobre povos indígenas e tribais, representa um avanço normativo significativo. No Brasil, esse direito foi internalizado pelo Decreto nº 5.051, de 19 de abril de 2004, revogado posteriormente pelo Decreto nº 10.088, de 05 de novembro de 2019, que estabelece a obrigatoriedade da consulta e do consentimento livre, prévio e informado a povos indígenas, comunidades quilombolas e demais povos e comunidades tradicionais (OIT, 2011; Brasil, 2019).

Contudo, observa-se que, no contexto brasileiro, a efetividade desse direito encontra limitações, uma vez que sua aplicação é frequentemente negligenciada em processos de licenciamento ambiental, bem como em projetos de natureza desenvolvimentista ou extrativista. Soma-se a isso a ocorrência de alterações legislativas e a formulação de normas e políticas públicas que podem implicar restrições ou riscos aos direitos de povos e comunidades tradicionais (Lima e Araújo, 2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os Estudos de Impacto Ambiental analisados descrevem de forma detalhada os impactos positivos e negativos em cada fase dos projetos. Todos destacam a alta demanda por recursos naturais, como água e energia, e indicam possíveis pressões sobre serviços e infraestruturas de saúde, transporte, educação e mercado de trabalho, o que pode gerar desemprego e aumento da informalidade. Entre os benefícios socioeconômicos, os estudos mencionam a expansão da oferta de energia limpa, a redução das emissões de CO₂ e a possibilidade de atrair novos investimentos e ampliar oportunidades de negócios e empregos.

É essencial adotar uma análise crítica sobre a produção de hidrogênio verde, questionando a distribuição dos benefícios gerados pela transformação de possíveis parques eólicos e solares em fontes de energia para fábricas voltadas à exportação. Isso implica desafiar as narrativas dominantes e apresentar dados alternativos que reflitam as experiências e os conhecimentos locais. Este trabalho busca avançar nas discussões ainda incipientes sobre os impactos territoriais da produção de hidrogênio verde no Ceará, considerando análises que se concentram nos aspectos ambientais e sociais.

Os impactos territoriais do hidrogênio verde também se estendem, de forma indireta, às infraestruturas que o alimentam, como os futuros parques eólicos *offshore*, cujos efeitos sobre os territórios costeiros demandam uma atenção crítica. Dessa forma, para que o hidrogênio verde se torne uma fonte energética amplamente justa, legítima e sustentável, se faz necessária a incorporação de pesquisas e métodos voltados a uma agenda de pesquisa emergente para o desenvolvimento justo das energias renováveis no âmbito do Sul Global, que possa incorporar *insights* de estudos sobre conflitos e fragilidades locais, no reconhecimento de todas as partes interessadas, em seus processos de governanças e no uso de seus recursos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Sistema de Informações de Geração, SIGA – ANEEL.** 2025. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojNjc4OGYyYjQtYWWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 14 fev. 2025.

ALGBURI, Sameer *et al.* Green Hydrogen Role in Sustainable Energy Transformations: a review. **Results In Engineering**, Elsevier BV, v. 26, p. 105109, jun. 2025.. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105109>.

ARAÚJO, J. C. H.; MEIRELES, A. J. de A. Entre Expropriações e Resistências: Mapas das desigualdades ambientais na zona costeira do Ceará, Brasil. In: GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C.; MEIRELES, A. J. de A. (org.). **Impactos socioambientais da implantação dos parques de energia eólica no Brasil**. Fortaleza: Edições UFC, 2019. p. 61-81.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA - ABSOLAR. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**: Infográfico ABSOLAR. Set. 2024. Disponível em: https://www.absolar.org.br/wp-content/uploads/2024/09/Infografico_setembro-724x1024.jpg

BRANNSTROM, C. *et al.* Is Brazilian wind power development sustainable? Insights from a review of conflicts in Ceará state. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, Elsevier BV, v. 67, p. 62-71, jan. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.047>.

BRANNSTROM, C.; GORAYEB, A. Geographical Implications of Brazil's Emerging Green Hydrogen Sector. **Journal of Latin American Geography**, v. 21, n. 1, p. 185-194, 2022, Disponível em: <https://muse.jhu.edu/article/855961>. Acesso em: 14 abr. 2025.

BRASIL. **Lei nº 14.948, de 2 de agosto de 2024**. Dispõe sobre a Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono; institui incentivos para a indústria do hidrogênio de baixa emissão de carbono. Diário Oficial da União, Brasília, DF. 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2024/Lei/L14948.htm. Acesso em: 14 abr. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia**. Brasília: MME/EPE, 2020.

BRASIL. **Decreto nº 10.088, de 5 de novembro de 2019**. Consolida atos normativos editados pelo Poder Executivo Federal que dispõem sobre a promulgação de convenções e recomendações da Organização Internacional do Trabalho – OIT ratificadas pela República Federativa do Brasil. Diário Oficial da União, Seção 1, Brasília, 6 nov. 2019. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/d10088.htm. Acesso em: 14 abr. 2025.

BRIDGE, G.; GAILING, L. New energy spaces: Towards a geographical political economy of energy transition. **Economy and Space A**, v. 52, n. 6, p. 037-1050, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1177/0308518X20939570>

BRINGEL, B., & SVAMPA, M. Energy transition and the new shape of green colonialism: The emergence of the decarbonisation consensus. In: MAGNELLI, A.; MAIA, F.; MARTINS, P. H. (org.) **Dependency Theories in Latin America**. London: Routledge, 2024, p. 242-258. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781003424291>

CAIAFA, C. *et al.* Identifying opportunities and risks from green hydrogen: a framework and insights from a developing region in Brazil. **Climate Policy**, Informa UK Limited, p. 1-19, 26 set. 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/14693062.2024.2407848>.

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. Diário Oficial do Estado do Ceará, Fortaleza, 12 maio 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: 29 jan. 2025.

CEARÁ. Governo do Ceará e empresa chinesa assinam memorando de entendimento para desenvolvimento de energia renovável. **Casa Civil**, 22 nov. 2024, Isabella Campos – texto, e Carlos Gibaja – fotos. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br/2024/11/22/governo-do-ceara-e-empresa-chinesa-assinam-memorando-de-entendimento-para-desenvolvimento-de-energia-renovavel/>.

CEARÁ. Portal do Governo. **Hub portuário**: Governo do Ceará celebra parceria da CIPP S.A. com o Porto de Roterdã, 2018. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br/2018/10/19/hub-portuario-governo-do-ceara-celebra-parceria-da-cipp-s-a-com-o-porto-de-roterda/>. Acesso em: 02 fev. 2025.

CEARÁ. Superintendência Estadual do Meio Ambiente. **Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA)**. 2025. Disponível em: <https://lookerstudio.google.com/u/0/reporting/3a51ce6e-927c-457a-8183-2b083fc4115d>. Acesso em: 26 abr. 2025.

CEZNE, Eric; OTSUKI, Kei. The making of H2-scapes in the Global South: political geography perspectives on an emergent field of research. **Political Geography**, Elsevier BV, v. 118, p. 103294, abr. 2025.. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polgeo.2025.103294>.

CHANTRE, C. *et al.* Hydrogen economy development in Brazil: an analysis of stakeholders' perception. **Sustainable Production And Consumption**, Elsevier BV, v. 34, p. 26-41, nov. 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.spc.2022.08.028>.

COEMA. **Resolução nº 03 de 10/02/2022**. Dispõe sobre os procedimentos, critérios e parâmetros aplicáveis ao licenciamento ambiental no âmbito da Semace para empreendimentos de produção de hidrogênio verde no Estado do Ceará. 2022. Disponível em: <https://www.semace.ce.gov.br/resolucoes-estaduais-2022/>. Acesso em: 03 set. 2024.

COLLAÇO, Flávia Mendes de Almeida *et al.* **Atlas do hidrogênio verde no Brasil**. Fortaleza: Editora UFC, 2024.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. **Hidrogênio sustentável**: perspectivas para o desenvolvimento e potencial para a indústria brasileira: versão 2024, 2. ed. Brasília: CNI, 2024.

DIETZ, Kristina; DORN, Felix Malte; SCHNEIDER, Etienne. Towards a global perspective on interrelated green hydrogen transitions: the case of colombia. **Political Geography**, Elsevier BV, v. 122, p. 103395, set. 2025.. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polgeo.2025.103395>.

DUNLAP, Alexander; VERWEIJEN, Judith; TORNEL, Carlos. The political ecologies of "green" extractivism(s): an introduction . **Journal Of Political Ecology**, University of Arizona, v. 31, n. 1, p. 436-463, 23 jul. 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.2458/jpe.6131>.

EMODI, N. V.; LOVELL, H.; LEVITT, C.; FRANKLIN, E. A systematic literature review of societal acceptance and stakeholders' perception of hydrogen technologies. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 46, p. 30669-30697, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.06.212>

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **BEN – Relatório Síntese – 2023 / Ano base**, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2024>. Acesso em: set. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Plano Nacional de Energia 2050 - EPE**, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf> Acesso em: 29 jan. 2025.

FLADVAD, Benno. Infrastructuring environmental (in)justice: green hydrogen, indigenous sovereignty and the political geographies of energy technologies. **Geographica Helvetica**, Copernicus GmbH, v. 78, n. 4, p. 493-505, 4 out. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/gh-78-493-2023>.

FREITAS, F. da S. **Construção do discurso e produção da legitimidade**: O caso do hidrogênio verde no estado do Ceará, Brasil. 2024. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/77891>. Acesso em: 03 jan. 2025.

GARLET, Taís Bisognin *et al.* Unlocking Brazil's green hydrogen potential: overcoming barriers and formulating strategies to this promising sector. **International Journal Of Hydrogen Energy**, Elsevier BV, v. 49, p. 553-570, jan. 2024.. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.09.227>.

GRIFFITHS, S. *et al.* Industrial decarbonization via hydrogen: a critical and systematic review of developments, socio-technical systems and policy options. **Energy Research & Social Science**, Elsevier BV, v. 80, p. 102208, out. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.erss.2021.102208>.

GURLIT, *et al.*, Hidrogênio verde: uma oportunidade de geração de riqueza com sustentabilidade, para o Brasil e o mundo. **McKinsey & Company**. 25 nov. 2021. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/br/our-insights/hidrogenio-verde-uma-oportunidade-de-geracao-de-riqueza-com-sustentabilidade-para-o-brasil-e-o-mundo>. Acesso em: 05 abr. 2025.

HANUSCH, Frederic; SCHAD, Miriam. Hydrogen research: technology first, society second?. **Gaia - Ecological Perspectives For Science And Society**, Oekom Publishers GmbH, v. 30, n. 2, p. 82-86, 15 jul. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.14512/gaia.30.2.5>.

IAIA – INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR IMPACT ASSESSMENT. Improving Decision-Making for the Energy Transition: Guidance for Using Strategic Environmental Assessment. Version 1. [S.l.]: IAIA, 2024. Disponível em: <https://training.iaia.org/guidance-for-using-strategic-environmental-assessment-sea/#Guidance>. Acesso em: 03 jan. 2025.

KALT, Tobias *et al.* Between green extractivism and energy justice: competing strategies in south africa's hydrogen transition in the context of climate crisis. **Review Of African Political Economy**, v. 50, n. 177-178, p. 302-321, 2023. Review of African Political Economy. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/03056244.2023.2260206>.

KALT, Tobias; TUNN, Johanna. Shipping the sunshine? A critical research agenda on the global hydrogen transition. **Gaia - Ecological Perspectives For Science And Society**, v. 31, n. 2, p. 72-76, 15 jul. 2022. Oekom Publishers GmbH. DOI: <http://dx.doi.org/10.14512/gaia.31.2.2>.

LIMA, Sarah; ARAUJO, Fernanda C. B. (org.). **Entrando em clima de urgência no Ceará sem tempo para termelétrica**. Fortaleza: Verdeluz, 2023.

MCNELLY, A.; FRANZ, T. Making and unmaking the actually existing hegemonic green transition. **The Extractive Industries And Society**, Elsevier BV, v. 20, p. 1-11, dez. 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.exis.2024.101525>.

MENDES, E. D.; SAMPAIO, R. J. S.; COLLAÇO, F. M. de A.. Justice or just plans? Reviewing the energy transition strategy of Brazil's Ceará state. **Energy Research & Social Science**, Elsevier BV, v. 119, p. 103865, jan. 2025. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.erss.2024.103865>.

MÜLLER, Franziska; TUNN, Johanna; KALT, Tobias. Hydrogen justice. **Environmental Research Letters**, IOP Publishing, v. 17, n. 11, p. 115006, 1 nov. 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/ac991a>.

ODENWELLER, Adrian; UECKERDT, Falko. The green hydrogen ambition and implementation gap. **Nature Energy**, v. 10, n. 1, p. 110-123, 14 jan. 2025. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41560-024-01684-7>. Acesso em: 29 jan. 2025.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO – OIT. **Convenção nº 169 sobre povos indígenas e tribais e Resolução referente à ação da OIT**. Brasília: OIT, 2011.

PIAUÍ. Governo do Piauí. **Com obras iniciadas, maior usina de hidrogênio verde do mundo coloca Piauí como líder da transição energética**. 09 jun. 2025, Robert Pedrosa. Disponível em: <https://www.pi.gov.br/com-obras-iniciadas-maior-usina-de-hidrogenio-verde-do-mundo-coloca-piaui-como-lider-da-transicao-energetica/>. Acesso em: 29 jun. 2025.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA - SEMA. **Cartografia Social: perspectivas e práticas no Ceará**. Fortaleza: SEMA, 2024. Disponível em: https://www.sema.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2024/07/Cartografia-Social-FINAL-2024_compressed.pdf. Acesso em: 17 out. 2024.

TELES, G. A. **Mobilidade, Trabalho e Interações Socioespaciais: O Complexo Industrial e Portuário do Pecém no contexto da Região Metropolitana de Fortaleza**. Fortaleza. 2015. 404 f. Tese (Doutorado em 2015) - Universidade Estadual do Ceará, 2015. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UECE-0_08b05193da50d8edf086fed76354195b. Acesso em: 29 jan. 2025.

TUNN, J. *et al.* Green hydrogen transitions deepen socioecological risks and extractivist patterns: evidence from 28 prospective exporting countries in the Global South. **Energy Research & Social Science**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103731>.

TUNN, J. *et al.* The German scramble for green hydrogen in Namibia: colonial legacies revisited?. **Political Geography**, Elsevier BV, v. 118, p. 103293, abr. 2025. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polgeo.2025.103293>.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE – UNFCCC. **Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el Acuerdo de París - FCCC/PA/CMA/2023/L.17**. United Arab Emirates, nov. 30 - Dec. 12, 2023. Disponível em: <https://unfccc.int/documents/636608>. Acesso em: 03 set. 2023.

VALLEJOS-ROMERO, Arturo; CORDOVES-SÁNCHEZ, Minerva; CISTERNAS, César; SÁEZ-ARDURA, Felipe; RODRÍGUEZ, Ignacio; ALEDO, Antonio; BOSÓ, Álex; PRADES, Jordi; ÁLVAREZ, Boris. Green Hydrogen and Social Sciences: issues, problems, and future challenges. **Sustainability**, v. 15, n. 1, p. 303, 24 dez. 2022. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su15010303>.

VIRENS, Abbi. Green hydrogen futures: tensions of energy and justice within sociotechnical imaginaries. **Energy Research & Social Science**, Elsevier BV, v. 114, p. 1-9, ago. 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.erss.2024.103587>.

WIERTZ, Thilo; KUHN, Lilith; MATTISSEK, Annika. A turn to geopolitics: shifts in the german energy transition discourse in light of russia's war against ukraine. **Energy Research & Social Science**, Elsevier BV, v. 98, p. 1-9, abr. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.erss.2023.103036>.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Universidade Federal do Ceará (UFC) – Departamento de Geografia, na atuação do Laboratório de Geoprocessamento e Cartografia Social (LABOCART), por todo o apoio e colaboração. Agradecemos também à FUNCAP/Edital n. 7 de 2021, PS1-0186-00295.01.00/21 “Desafios Sociais e Ambientais da Transição Energética no Ceará: implicações na produção do Hidrogênio Verde”; a “Bolsa CNPq de Produtividade” Proc. 308830/2021-0 da segunda autora e ao PROEX/CAPES, processo n. 0348/2021/23038.008387/2021-53: Programa de Excelência Acadêmica."