

AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO DA PRONTIDÃO DO BRASIL PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA SUSTENTÁVEL: O POTENCIAL BRASILEIRO NO CONTEXTO DO HIDROGÊNIO VERDE

JANAINA DOS SANTOS BENVINDO, MÁRCIA ZABDIELE MOREIRA

Universidade Federal do Ceará (UFC)

<njanainabenvindo@gmail.com>, <marciazabdiele@ufc.br>

DOI: 10.21439/conexoes.v19.3729

Resumo. A transição energética global enfrenta desafios diversos, incluindo a estrutura das matrizes energéticas, aspectos econômicos e institucionais. Neofytou, Nikas e Ducas (2020) propuseram critérios abrangentes para avaliar a prontidão dos países nessa transição, considerando aspectos sociais, políticos, econômicos e tecnológicos. Este estudo tem como objetivo geral verificar quão preparado o Brasil está para a transição energética global, com foco no Hidrogênio verde, por meio de um estudo de caso no complexo do Porto do Pecém, no Ceará. Foram conduzidas entrevistas com seis participantes ligados à área de hidrogênio verde no âmbito nacional. Os dados foram tabulados e examinados por Análise Textual Discursiva (ATD) com o *software IRaMuTeQ*. Os resultados destacam avanços na conscientização pública e capital humano, especialmente no Ceará, mas desafios persistem, como infraestrutura e inovação. Existe vontade política, evidenciada em parcerias e regulações alinhadas com padrões internacionais, embora a sustentabilidade financeira seja um aspecto a ser considerado.

Palavras-chave: mudanças climáticas; transição energética; hidrogênio verde; desenvolvimento sustentável; avaliação multicritério.

MULTICRITERIA EVALUATION OF BRAZIL'S READINESS FOR SUSTAINABLE ENERGY TRANSITION: BRAZILIAN POTENTIAL IN THE CONTEXT OF GREEN HYDROGEN

Abstract. The global energy transition faces various challenges, including the structure of energy matrices, as well as economic and institutional aspects. Neofytou, Nikas e Ducas (2020) proposed comprehensive criteria to assess countries' readiness for this transition, considering social, political, economic, and technological factors. The overall objective of this study is to assess how prepared Brazil is for the global energy transition, with a focus on Green Hydrogen, through a case study of the Pecém Port complex in Ceará. Interviews were conducted with six participants involved in the green hydrogen sector at the national level. The data were tabulated and analyzed using Discursive Textual Analysis (DTA) with the *IRaMuTeQ software*. The results highlight progress in public awareness and human capital, especially in Ceará, but challenges such as infrastructure and innovation remain. There is political will, evidenced by partnerships and regulations aligned with international standards, although financial sustainability remains an aspect to be considered.

Keywords: climate change; energy transition; green hydrogen; sustainable development; multicriteria assessment.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, enfrenta-se uma transição energética de baixo carbono impulsionada por uma agenda climática, refletida em políticas públicas e estratégias privadas para reduzir as emissões de carbono. No entanto, os países enfrentam desafios diversos na implementação dessa transição, relacionados à composição de suas matrizes energéticas, além de questões econômicas e institucionais. Essas dificuldades demandam soluções variadas e adaptativas (Losekann; Tavares, 2020).

A transformação para uma economia de baixo carbono requer, necessariamente, aumentar a utilização de energias de fontes limpas na composição da matriz energética dessa economia, tendo em vista que 41% de gases poluentes que agravam o efeito estufa são resultados da operação do setor energético (Hund, 2020).

Neofytou, Nikas e Ducas (2020) destacam que a transição energética sustentável requer uma análise ampla, considerando critérios como conscientização pública, capital humano, vontade política, indicadores regulatórios, sustentabilidade financeira, facilidade de negócios, captura de carbono e infraestrutura/ inovação. Esses critérios oferecem uma visão abrangente da preparação de um país para essa transição, indo além de considerações puramente econômicas. Nesse contexto, o presente trabalho tem como questão de pesquisa: qual é o nível de preparação do Brasil para uma transição energética sustentável? Para tanto, tem como objetivo geral: verificar quão preparado o Brasil está para a transição energética global, com foco no Hidrogênio verde, por meio de um estudo de caso no complexo do Porto do Pecém, no Ceará.

Este trabalho visa contribuir para a produção científica no campo de Ciências Sociais Aplicadas, especialmente na área de Administração, ao identificar lacunas de pesquisa na literatura sobre o tema do Hidrogênio Verde. Observa-se uma escassez de estudos que explorem a perspectiva do hidrogênio verde no âmbito das ciências sociais aplicadas (Filho; Tahim; Veras, 2022).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A crise climática e a pressão pela transição energética sustentável

As métricas essenciais para avaliar a perturbação do sistema climático são o desequilíbrio energético global e o aumento médio da temperatura da superfície terrestre e marítima em relação ao período pré-industrial. Previu-se que certas regiões, como o Mediterrâneo, algumas áreas dos EUA e o centro do Brasil, experimentarão um aumento médio de temperatura de 2° C cerca de 10 anos antes da média global, com o Ártico já atingindo esse nível (Seneviratne, 2016). O crescimento atual das emissões resultará em um aumento adicional de temperatura de 0,25°C a 0,32°C por década nos próximos 25 anos (Xu; Ramanathan; Victor, 2018).

O setor energético está passando por mudanças significativas, especialmente devido ao seu papel crucial nas emissões de gases de efeito estufa (GEE). A transição energética, que engloba uma série de mudanças nesse setor, está sendo liderada principalmente pelos países desenvolvidos. Essa transição visa promover o uso mais amplo de fontes de energia renovável, especialmente para a geração de eletricidade, por meio da implementação de políticas públicas específicas (Losekann; Tavares, 2019).

Inicialmente, a transição energética visava diminuir a dependência de recursos energéticos estrangeiros, especialmente os não renováveis. Com o tempo, porém, esse objetivo se expandiu para incluir metas de redução das emissões de dióxido de carbono (Filho; Santos, 2022). Nos debates do início dos anos 2000, preocupações com escassez de recursos e aumento de preços, especialmente de combustíveis fósseis, eram comuns. No entanto, esses debates mudaram com os avanços tecnológicos que favoreceram a produção desses combustíveis (Castro; Santos; Mello, 2022).

O estudo dos autores Neofytou, Nikas e Ducas (2020), aborda a urgência global de enfrentar os impactos das mudanças climáticas, principalmente provenientes do uso extensivo de combustíveis fósseis. Para tanto, propõem um quadro de análise multicritério para avaliar a prontidão dos países em realizar a transição para formas mais sustentáveis de energia, com pilares que abrangem aspectos sociais, políticos, econômicos e tecnológicos. O estudo analisa 14 países, destacando áreas de melhoria para apoiar decisores políticos na busca por economias mais verdes, conforme Quadro 1.

A avaliação desses critérios é essencial para entender as mudanças na utilização de energia em direção a uma transição sustentável. Cada aspecto aborda partes importantes que influenciam o sucesso dessas mudanças.

Quadro 1: Critérios para preparação de um país para a transição energética.

Critério	Descrição
Conscientização e Aceitação Pública	Explora a percepção e aceitação da população em relação às questões ambientais, buscando-se compreender como as comunidades recebem e apoiam iniciativas voltadas para a sustentabilidade. Isso é fundamental para implementar políticas eficazes e promover a transição para fontes de energia sustentáveis.
Capital Humano	Avalia o potencial humano de um país, considerando o desempenho médio em pilares como saúde, ensino primário, ensino superior e eficiência do mercado de trabalho. Busca-se entender como o país investe em seu capital humano, fator essencial para impulsionar a inovação e o desenvolvimento sustentável.
Vontade Política	Este critério analisa a atitude e ação dos líderes políticos frente às mudanças climáticas, considerando seu histórico, estratégias atuais e consciência ambiental. Entender essa postura é fundamental para avaliar o compromisso efetivo com políticas ambientais e sustentáveis.
Indicador Regulatório para Energia Sustentável (RISE)	Avalia o desempenho regulatório dos países em relação ao acesso à eletricidade, eficiência energética e utilização de energias renováveis. Fornece informações sobre como os governos implementam políticas e regulamentações para promover o avanço da energia sustentável em suas jurisdições.
Sustentabilidade do Setor Financeiro	Analisa o desempenho financeiro de cada país, abrangendo a acessibilidade aos serviços financeiros, o acesso a empréstimos e a sustentabilidade das instituições bancárias. Compreender o papel do setor financeiro é fundamental para impulsionar iniciativas relacionadas à energia verde.
Facilidade de Fazer Negócios	Mede a burocracia enfrentada pelas empresas ao iniciar, operar e expandir no país. Uma classificação positiva indica um ambiente propício para o desenvolvimento de negócios sustentáveis, favorecendo a inovação e o empreendedorismo.
Captura de Carbono	Avalia a dependência de sistemas energéticos baseados em combustíveis fósseis. Ao considerar as reservas nacionais de combustíveis fósseis e a presença de centrais movidas a esses combustíveis, busca-se compreender a disposição do país para adotar tecnologias energéticas alternativas e reduzir as emissões de carbono.
Infraestrutura e Inovação	Refletem o desempenho médio do país em termos de infraestrutura eficiente, como transporte, fornecimento de eletricidade e rede de telecomunicações. Além disso, avalia a capacidade do país de promover atividades inovadoras por meio de investimentos em pesquisa e desenvolvimento. Uma infraestrutura robusta e orientada para a inovação é crucial para sustentar a transição para fontes de energia mais sustentáveis.

Fonte: Elaborado pelas autoras (2024) com base em Neofytou, Nikas e Ducas (2020).

2.2 A ascensão do hidrogênio verde como elemento catalisador das mudanças do clima

A atenção voltada para o progresso, utilização e produção de energias provenientes de energias renováveis (ER) tem adquirido relevância destacada na pauta política e econômica das nações. Iniciativas de magnitude, como o tratado de *Kyoto* e o Acordo de Paris, voltadas para a preservação do ecossistema global, repousam sobre a imperativa utilização de ER como meio fundamental para mitigar as emissões de gases de efeito estufa (Matos, 2020).

É nesse cenário que o hidrogênio começa a ocupar um espaço de destaque, tendo em vista as potenciais possibilidades de sua utilização e aplicação como vetor energético para colocar em curso a referida transição e contribuir com a descarbonização mundial (Parra *et al.*, 2019).

A aplicação do hidrogênio pode se dar em várias cadeias industriais, desde o refino do petróleo, produção de aço e fertilizantes, até o processamento de itens alimentícios e setor de transportes (Capurso *et al.*, 2022). Adicionalmente, pode ser utilizado como um vetor para armazenar energia elétrica derivada de fonte renovável como eólica e solar, aliado a isso, as diversas possibilidades de transporte desse composto em seu estado sólido, líquido, gasoso e via produtos químicos por longos percursos permite uma dinamicidade entre oferta e demanda, possibilitando o aumento da flexibilidade do sistema energético (Abdin *et al.*, 2020).

Por fim, a autoignição do motor movido a hidrogênio necessita de um calor maior do que os motores tradicionais que utilizam combustíveis como gasolina e o gás, o que lhe confere a característica de elevadas taxas de compressão para queima interna. O hidrogênio, devido a sua capacidade de inflamabilidade no ar, gera uma maior economia de combustível quando reduz a queima completa (Epage *et al.*, 2021).

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

O estudo adota uma abordagem qualitativa, seguindo as diretrizes de Guerra (2014), para investigar os eventos sociais, como as atividades de pessoas, grupos ou organizações. Também é uma pesquisa exploratória e o método utilizado é o estudo de caso, conforme definido por Yin (2014), que permite uma análise detalhada de objetos ou fenômenos para obter um entendimento completo. Os dados foram coletados por meio de entrevistas com 6 pessoas que possuem envolvimento com o tema do H2V.

Os participantes da pesquisa representam uma variedade de setores e perspectivas relevantes para o estudo. O entrevistado E1, com formação em Engenharia de Aeronáutica e Doutorado em Economia de Negócios, traz a visão do governo, ocupa atualmente um cargo de gestão no Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP). E2, com formação em Engenharia Química e ocupa atualmente posição de alta gestão na Universidade Federal do Ceará (UFC), enquanto E3, que atua em cargo de alta direção de um consórcio de empresas voltado para a produção de H2V, representa a indústria. E4, com vasta experiência em energia renovável, oferece uma perspectiva adicional da indústria, sendo membro da FIEC e da Academia Cearense de Engenharia. O entrevistado E5, membro da liderança do povo Anacé, traz uma voz importante da sociedade local, enquanto E6, com experiência em Saneamento Ambiental e Climatologia, ocupa cargo de alta gestão na Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), traz a visão sobre questões ambientais. Juntos, esses participantes fornecem uma visão dos diversos aspectos envolvidos na implementação do hub de H2V, do Complexo do Pecém, no Ceará, lócus desta pesquisa.

Para análise dos dados, empregou-se a análise textual discursiva (ATD) com o *software IRaMuTeQ*, uma abordagem qualitativa cada vez mais utilizada, permitindo a interpretação de entrevistas e outros materiais textuais (Moraes; Galiazzi; Ramos, 2013). As funções utilizadas foram Diagrama de *Zipf*, Classificação Hierárquica Descendente e Análise Fatorial de Correspondência (AFC).

Por fim, não foram considerados todos os critérios do estudo de Neofytou, Nikas e Ducas (2020), pois alguns eram exclusivamente quantitativos ou não se aplicavam ao escopo deste trabalho, e não houve comparação do Brasil com outros países. Nenhum atributo quantitativo foi utilizado na avaliação dos critérios, apenas as definições dos itens foram absorvidas do referido trabalho, dada a natureza qualitativa da pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise concentrou-se em seis critérios específicos: Conscientização e Aceitação Pública, Capital Humano, Vontade Política, Sustentabilidade do Setor Financeiro, Facilidade de Fazer Negócios e Infraestrutura e Inovação. O Quadro 6 contém um resumo da análise.

Quadro 2: Análise dos critérios para preparação de um país para a transição aplicada ao Brasil.

Critério	Descrição
Conscientização e aceitação pública	A aceitação das comunidades em relação à transição para energias renováveis, como o H2V, é complexa, envolvendo considerações econômicas, sociais, culturais e ambientais.
Capital humano	O Brasil, especialmente o Estado do Ceará, tem avançado no desenvolvimento do capital humano. Investimentos em educação têm melhorado a qualidade da mão de obra, refletidos em altos índices de desempenho escolar e programas profissionalizantes.
Vontade política	O Brasil demonstra um bom nível de vontade política em relação ao desenvolvimento da cadeia produtiva do H2V, evidenciado por parcerias com diversas instituições e dos esforços para alinhar a regulação brasileira com os padrões internacionais, visando atender às demandas do mercado global.
Sustentabilidade do setor financeiro	O nível do Brasil em relação à sustentabilidade do setor financeiro demonstra ser misto. Por um lado, há o apoio de organizações como o Banco Mundial e os Fundos de Investimentos Climáticos, por outro lado, há desafios, como a falta de financiamento de longo prazo para projetos de H2V por parte dos bancos brasileiros.
Facilidade de fazer negócios	Há esforços no Brasil, especificamente no Ceará, para melhorar a facilidade de fazer negócios, especialmente em relação à burocracia enfrentada pelas empresas. Ao estruturar soluções consorciadas para simplificar o processo de obtenção de licenças e autorizações, o estado busca tornar mais eficiente e ágil o ambiente de negócios.
Infraestrutura e Inovação	O Brasil enfrenta desafios em infraestrutura e inovação, carecendo de investimentos em simulações computacionais para reduzir custos de pesquisa e tecnologias desenvolvidas localmente. A dependência estrangeira e a ausência de fabricantes nacionais em setores-chave, como automobilístico e eólico, apontam para lacunas a superar.

Fonte: Elaborado pelas autoras (2024).

Quanto à conscientização e aceitação pública, o E5 destaca a longa tradição de práticas de utilização consciente dos recursos naturais, como a agroecologia, presentes nas comunidades locais, evidenciando uma inclinação natural para adotar soluções que respeitem o equilíbrio ecológico, conforme observado no trecho:

E essa energia limpa que o branco vem, ela causa certos impactos. Isso é o que nos preocupa. Porque esses impactos são bem diferentes da energia que a gente sempre fez, né? Como a energia que a gente utiliza com os detritos, que a gente não chama de detritos, mas de um adubo orgânico, que a gente usa nas nossas plantações, seja pra fossas que a gente utiliza, fossas limpas, fossas sépticas, que a gente pode utilizar de uma forma pra não agredir, não sujar a nossa terra e nem nossa água (E5).

Este aspecto é corroborado pelo estudo de Martins *et al.* (2021) em que os autores afirmam que nas áreas pertencentes aos povos indígenas Anacé e Kanindé, foi notada uma convivência equilibrada e simbiótica com o meio ambiente, revelando uma ligação intrínseca com sua visão de mundo.

No entanto, a disposição potencial para aceitar energias limpas não garante uma adesão automática a todas as propostas nesse sentido. Preocupações válidas levantadas pelo E5 destacam os potenciais impactos adversos, especialmente quando as iniciativas são implementadas sem considerar as realidades locais e as necessidades das comunidades afetadas. De acordo com Martins *et al.* (2021), a exploração desenfreada dos recursos naturais por interesses capitalistas globais em territórios indígenas representa uma ameaça à diversidade biológica, justificando essas preocupações.

Essa preocupação é intensificada pelos recentes impactos que o povo *Anacé* e diversas outras comunidades indígenas na região de São Gonçalo do Amarante e Caucaia enfrentam devido à construção de vários empreendimentos de infraestrutura e indústrias de base, como siderúrgicas, termelétricas e refinaria, que fazem parte do projeto de estruturação do CIPP. Essa situação é documentada em estudos realizados por Nóbrega (2020), Brissac (2015), Santos (2013) entre outros estudos. A seguinte fala destaca a luta do povo *Anacé* na região:

Na década de, ainda nos anos de 2009 até 2016, a gente já teve grandes brigas por causa da água do Cauípe. 2016 pra 2017 foi um dos anos mais impactantes, onde a gente foi pra cima do próprio governo do estado, ainda com o Camilo Santana como governador, que dissemos que não aceitaríamos entregar a nossa água pra esfriar placas de aço na siderurgia. Porque essa água, além de ser sagrada, se fosse pra ser usada, ela deveria ser usada pelas pessoas, como diz a própria Constituição. Em primeiro lugar, as pessoas, em segundo lugar, os animais e, por último, esses grandes empreendimentos. (E5).

O nível de conscientização e aceitação das iniciativas de energias renováveis, como o H2V, depende da ponderação entre os benefícios da energia limpa e os riscos da sua implementação inadequada. Para assegurar uma aceitação genuína e eficaz, é essencial que essas iniciativas sejam conduzidas de forma participativa e inclusiva, envolvendo as comunidades afetadas desde o início do processo decisório, como sugerido por Farias, Martins e Cândido (2021).

No critério do capital humano, conforme destacado pelos entrevistados, há indicações promissoras sobre o nível brasileiro, especialmente no Estado do Ceará. Investimentos em educação e formação profissional são priorizados, com iniciativas como o Programa de formação técnica H-TEC, lançado em 06 de maio de 2024, e outras iniciativas universitárias.

Como é que a UFC se posicionou nesse sentido? Em primeiro lugar, começou a fazer um mapeamento (...) do que é que se fazia atualmente, em termos de pesquisa, que se encaixasse, de alguma maneira, dentro da cadeia de valor do hidrogênio verde, englobando desde a produção, a energia renovável necessária para a produção, a purificação, se fosse o caso, armazenamento, transporte e utilização do hidrogênio (E2).

O E1 ressalta os progressos significativos na qualidade da educação no Ceará, evidenciados pelo excelente desempenho das escolas públicas e pela expansão de programas de ensino integral e profissionalizantes, como no trecho:

Eu acho que material humano o Ceará já tem. Tem tido um ponto de desempenho, por exemplo, 87 das 100 melhores escolas públicas do Brasil são do Ceará. 23 das 100 melhores escolas de ensino médio do Brasil são do Ceará. Cada vez mais escolas de tempo integral, escolas profissionalizantes. Isso tudo são políticas que têm resultado. Você vê aí o desempenho das universidades, cada vez mais programas de pós-graduação, nível 6 e 7, participando aí de internacionalização, intercâmbio com outras universidades em todo o mundo, intercâmbio com empresas (E1).

Esses avanços são corroborados por diversas fontes, incluindo o Índice de Oportunidades da Educação Brasileira (IOEB), no qual o Ceará se destaca com uma pontuação de 5,5, liderando no Nordeste e empatando com São Paulo no topo da lista nacional (IOEB, 2023). Além disso, iniciativas como a meta de universalização do ensino integral demonstram o compromisso contínuo do estado com a melhoria da educação (IOEB, 2023).

Os entrevistados E4 e E6 ressaltam a colaboração entre instituições de ensino e organizações do setor produtivo na oferta de cursos e treinamentos para a transição energética. Estas informações podem ser comprovadas por exemplos concretos, como o lançamento, em 2021, do curso pioneiro "Introdução ao Hidrogênio Verde" pela FIEC, que recebeu 2.100 inscrições FIEC (2021), e a oferta do curso "Segurança Aplicada ao Armazenamento e Distribuição de Hidrogênio Verde" pelo SENAI Ceará em 2023 FIEC (2023).

No que diz respeito ao critério Vontade política, o Brasil, mais especificamente o estado do Ceará, está demonstrando uma forte vontade política em relação às mudanças climáticas, especialmente no contexto do desenvolvimento de uma cadeia produtiva de hidrogênio verde, conforme o trecho:

Eu acho que material humano o Ceará já tem. Tem tido um E esse modelo de governança ele foi instituído ainda em 2021, criado o decreto, criado um trabalho para estabelecer diretrizes e objetivos para a constituição desse polo de produção, consumo e distribuição de hidrogênio verde para o mundo. E esse modelo de governança, ele vem sendo aprimorado com o passar do tempo. E agora em setembro foi formalizado através de um projeto de lei aprovado na assembleia legislativa do estado do Ceará e criou um conselho para tratar o desenvolvimento desse hub. E a importância disso é porque está sendo criada, na verdade, uma nova cadeia produtiva, uma nova cadeia de valor para o hidrogênio verde (E1).

Na promoção do hidrogênio verde, a governança e liderança política desempenham papéis fundamentais. No Ceará, o governo coordena esforços entre setor público, privado e acadêmico, refletidos em compromissos de longo prazo como o Planejamento Ceará 2050 e o programa Ciência e Futuro (Neto, 2023). O desenvolvimento de políticas específicas, como a Lei 18.459 de 07/09 de 2023, estabelece diretrizes e órgãos dedicados ao setor. Parcerias estratégicas com entidades internacionais, como o Porto de Roterdã, fortalecem a posição do Ceará no mercado global do hidrogênio verde, facilitando a transferência de conhecimento e tecnologia (Chiappini, 2023). O recente financiamento de US\$ 90 milhões para infraestrutura do Hub de Hidrogênio Verde pelo CIPP, com contrapartida de US\$ 10 milhões do governo estadual, exemplifica esses esforços (Governo do estado do Ceará, 2023). Além disso, a participação em fóruns internacionais como o Consórcio Nordeste evidencia uma abordagem colaborativa e global em questões climáticas e soluções sustentáveis.

No que concerne ao critério de sustentabilidade do setor financeiro, os entrevistados demonstram perspectivas complementares sobre o assunto. Enquanto o E1 destaca o apoio do Banco Mundial e dos Fundos de Investimentos Climáticos a projetos de desenvolvimento sustentável, como no trecho:

Inclusive, nós mesmos aqui temos o tipo de suporte do Banco Mundial, o Banco Mundial vai nos financiar, nessa situação da infraestrutura, os Fundos de Investimentos Climáticos também, que é uma organização não governamental que faz gestão e aplica em projetos de desenvolvimento sustentável no mundo. Ela também está nos apoiando. Essa experiência, ela é replicada para outros estados, para o Banco Mundial também, Brasil, e também para outros países que estão buscando participar dessa cadeia (E1).

Com isso, evidencia-se um reconhecimento internacional da importância dessas iniciativas. Por sua vez, o E3 aponta o desafio a ser enfrentado em relação a hesitação dos bancos no financiamento de longo prazo, devido à incerteza sobre os preços futuros conforme o trecho:

Um outro problema desses projetos verdes, é que você precisa ter um financiamento e a maioria dos bancos, incluindo os bancos multilaterais, estão pedindo para que o projeto tenha um contrato de longo prazo, de dez anos, para que esse projeto possa ficar financiado.

Essa preocupação reflete a falta de confiança do mercado consumidor e a instabilidade das condições financeiras.

O E4 ressalta a carência de recursos financeiros no Brasil, tanto em termos de capacidade de investimento das empresas nacionais quanto de oferta de financiamento pelos bancos locais. Mas deixa claro que não é um problema somente do Brasil:

(...) Mas o Brasil tem muita dificuldade. Inclusive, esse não é um tema específico do Brasil, não. A transição energética vai exigir muito investimento. Os países que mais poluíram, os países que mais são responsáveis por essa poluição, essa emissão de gás do efeito estufa, são os países mais desenvolvidos. E os países menos desenvolvidos são os países mais lentos que precisam de mais capital para desenvolver os seus projetos (E4).

Isso sugere uma barreira entre a demanda por investimentos em projetos sustentáveis e a capacidade de resposta do mercado financeiro, sobretudo no Brasil, dificuldades essas que representam um grande desafio para o Brasil na viabilidade de financiamento para projetos de H2V Sorj e Santis (2024). Quanto ao critério de Facilidade de fazer negócios, com base na fala do E6, é possível inferir que o Brasil, especialmente o estado do Ceará, está em um estágio de progresso na facilitação do ambiente de negócios. A implementação de soluções consorciadas para simplificar os processos burocráticos pode indicar uma tendência positiva em direção a um ambiente mais favorável para empreendimentos. A redução do tempo necessário para obtenção de licenças, como a de instalação, de cerca de 8 meses, evidencia uma melhoria em comparação com outras regiões do país (a média nacional é de cerca de 1 a 2 anos, conforme Salles (2023).

Esse avanço pode posicionar o Ceará como um líder nacional nesse aspecto específico. No entanto, é importante ressaltar que essas melhorias podem não ser uniformes em todo o Brasil e que ainda podem haver desafios em outras áreas que afetam a facilidade de fazer negócios no país, conforme trecho a seguir:

Já pode protocolar a licença de instalação, ela queima uma etapa aí e ganha um tempo significativo. Nós estamos falando de um tempo de em torno de 8 meses, tá bom? Tá? pelo menos. Na verdade, a licença é a base para a decisão de investimento e ela é uma condição, na verdade (E6).

Para Salles (2023) a demora na obtenção de licenças ambientais pode ser um obstáculo significativo para o desenvolvimento de novos negócios no Brasil. Quando os empresários enfrentam atrasos de um a dois anos ou mais para obter essas licenças, isso prejudica sua capacidade de planejar investimentos e operações com antecedência.

Essa incerteza pode desencorajar o empreendedorismo e restringir o crescimento econômico, pois os empresários ficam relutantes em iniciar novos projetos devido à falta de garantia sobre sua viabilidade a longo prazo.

No que diz respeito ao critério de Infraestrutura e inovação também revela desafios. O E2 destaca a necessidade de investimentos em simulações computacionais para reduzir os custos associados à pesquisa experimental, evidenciando uma lacuna na capacidade de infraestrutura para suportar atividades de pesquisa e desenvolvimento, como nesse trecho:

A gente faz um pouco isso, eu digo, o meu grupo de pesquisa lá no laboratório mais uma vez, usando graminhas e um catalisador, até porque é tudo muito caro. Se eu for comprar uma garrafa de hidrogênio, uma garrafa de CO₂, a ordem de grandeza é uns milhares de reais para fazer uma semana de experimento. Melhor do que isso é, ok, descobri que dá certo. Agora eu vou simular isso no computador, aí é bem mais barato. Simular essa reação e o que provavelmente aconteceria (E2).

Além disso, O E2 aponta a importância de repensar a localização dos centros de pesquisa, sugerindo que a proximidade com unidades fabris pode ser mais vantajosa. O E3 ressalta a inexistência de tecnologias específicas no Brasil, demandando esforços de inovação e desenvolvimento para atender às necessidades do setor de energia verde. Ele destaca a complexidade de integrar diferentes fontes de energia na produção de hidrogênio e menciona a necessidade de desenvolver *software* especializado para gerenciar esses processos.

Por fim, o E4 aborda a dependência tecnológica do país, destacando que a maioria das tecnologias utilizadas nas indústrias brasileiras é importada. Ele enfatiza a necessidade de investimentos em pesquisa e capacitação tecnológica para reduzir essa dependência e promover o desenvolvimento de tecnologias nacionais, confirmando os resultados de Garlet *et al.* (2023). Essas considerações apontam para a urgência de políticas e investimentos que fortaleçam a infraestrutura e promovam a inovação no Brasil, especialmente no contexto da transição para fontes de energia mais sustentáveis.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral do presente estudo verificar quão preparado o Brasil está para a transição energética global, com foco no Hidrogênio verde, por meio de um estudo de caso no complexo do Porto do Pecém, no Ceará, foi alcançado. Com base na análise dos critérios específicos aplicados ao Brasil, é possível perceber que o país apresenta avanços em algumas áreas, mas enfrenta desafios significativos em outras no que diz respeito à preparação para a transição energética global. No Brasil, se analisadas apenas as comunidades indígenas, é possível verificar que há considerável nível de conscientização e aceitação pública em relação à importância da sustentabilidade ambiental, porém, há preocupações com os impactos sociais e ambientais das iniciativas de energia limpa, sobretudo com H2V.

Em termos de capital humano, o país apresenta progressos promissores, especialmente em regiões como o Estado do Ceará, onde investimentos em educação e formação profissional tem impulsionado a qualidade da mão de obra. No entanto, a infraestrutura e inovação representam desafios significativos, com a necessidade de investimentos em pesquisa e desenvolvimento para reduzir a dependência tecnológica e promover o desenvolvimento de tecnologias nacionais.

A vontade política para promover a transição energética é evidente, com parcerias estratégicas e esforços para alinhar a regulação brasileira com os padrões internacionais. No entanto, a sustentabilidade do setor financeiro ainda enfrenta obstáculos, como a falta de financiamento de longo prazo para projetos verdes. Portanto, enquanto o Brasil está avançando em algumas áreas, ainda há trabalho a ser feito para garantir uma transição eficaz e sustentável para fontes de energia mais limpas e renováveis.

Uma limitação deste estudo é a quantidade de entrevistados, especialmente no que diz respeito à representação da sociedade, dificultando generalizar os resultados para o país como um todo. Como sugestão para pesquisas futuras, recomenda-se a aplicação desses critérios em outros países com características similares ao Brasil, permitindo comparações de resultados. Além disso, seria benéfico expandir o número de entrevistados, sobretudo da sociedade para obter uma análise mais abrangente e representativa.

REFERÊNCIAS

- ABDIN, Z.; ZAFARANLOO, A.; RAFIEE, A.; MÉRIDA, W.; LIPÍŃSKI, W.; KHALILPOUR, K. R. Hydrogen as an energy vector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 120, p. 109620, 2020.
- BRISSAC, S. Os embates da questão anacé: a atuação de antropólogos na efetivação de direitos territoriais indígenas no ceará. In: OLIVEIRA, J. P. d.; MURA, F.; SILVA, A. B. (Ed.). **Laudos antropológicos em perspectiva**. São Paulo SP: ABA, 2015. p. 280–306.
- CAPURSO, T.; STEFANIZZI, M.; TORRESI, M.; CAMPOREALE, S. M. Perspectiva do papel do hidrogênio na transição energética do século xxi. **Conversão e Gestão de Energia**, v. 251, p. 114898, 2022.
- CASTRO, N.; SANTOS, V.; MELLO, J. **As Perspectivas dos Mercados Locais de Energia em Portugal e na União Europeia**. 2022. Broadcast Energia. Agência Estado de São Paulo. Disponível em: <https://gesel.ie.ufrj.br/publicacao/o-brasil-e-as-estrategias-da-alemanha-para-o-hidrogenio-verde/>. Acesso em: 11 jul. 2023.
- CHIAPPINI, G. **Países Baixos firmam parceria com Ceará para impulsionar hidrogênio verde**. 2023. EPBR. Disponível em: <https://epbr.com.br/paises-baixos-firmam-parcerias-com-portos-brasileiros-para-impulsionar-hidrogenio-verde/>. Acesso em: 24 dez. 2023.
- EPAGE, T.; KAMMOUN, M.; SCHMETZ, Q.; RICHEL, A. Biomass-to-hydrogen: A review of main routes production, processes evaluation and techno-economical assessment. **Biomass and Bioenergy**, v. 144, p. 105920, 2021.
- FARIAS, M. E. A. C. d.; MARTINS, M. d. F.; CÂNDIDO, G. A. Agenda 2030 e energias renováveis: sinergias e desafios para alcance do desenvolvimento sustentável. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 17, p. e13101723867, 2021.
- FIEC, F. das Indústrias do Estado do C. **Curso de Hidrogênio Verde do SENAI registra mais de 2.100 matrículas**. 2021. Disponível em: <https://www1.sfiac.org.br/>. Acesso em: 26 dez. 2023.
- FIEC, F. das Indústrias do Estado do C. **SENAI Ceará promove primeiro curso de Segurança Aplicada ao Armazenamento e Distribuição de Hidrogênio Verde**. 2023. Disponível em: <https://www1.sfiac.org.br/fiec>. Acesso em: 24 dez. 2023.
- FILHO, J. d. R. R.; TAHIM, E. F.; VERAS, V. M. V. Perspectivas para o hidrogênio verde: uma análise à luz do modelo da hélice tríplice. **Brazilian Journal of Development**, v. 1531, 2022. ISSN 2525-8761.
- FILHO, V. G.; SANTOS, T. Transição da segurança energética: energias limpas, minerais críticos e novas dependências. **Ambiente Sociedade**, v. 25, 2022.
- GARLET, T. B.; SAVIAN, F. d. S.; RIBEIRO, J. L. D.; SILUK, J. C. M. Unlocking brazil's green hydrogen potential: Overcoming barriers and formulating strategies to this promising sector. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 49, p. 553–570, 2023.
- GUERRA, E. L. d. A. **Manual de pesquisa qualitativa**. Belo Horizonte: Grupo Ânima Educação, 2014.
- HUND, K. **Minerals for climate action: the mineral intensity of the clean energy transition**. Washington, DC: World Bank, 2020.
- IOEB Índice de Oportunidades da E. B. **Análise de dados por estado e Análise de dados por município**. 2023. Disponível em: <https://ioeb.org.br/analise-por-estado/>. Acesso em: 24 dez. 2023.
- LOSEKANN, L.; TAVARES, A. **Transição energética e potencial de cooperação nos BRICs em energias renováveis e gás natural**. Brasília: IPEA, 2020.
- LOSEKANN, L.; TAVARES, F. B. **Política energética no BRICS: Desafios da transição energética**. Brasília: IPEA, 2019.
- MARTINS, I. S.; RABELO, T. d. S.; LIMA, A. E. d. A.; ANDRADE, A. J. M. Da negação ao território à expropriação da vida: apontamentos para a soberania dos povos indígenas anacé e os kanindé de aratuba, ceará, nordeste do Brasil. **Revista Presença Geográfica**, v. 8, n. 2, p. 139–155, 2021.
- MATOS, M. M. Crescimento econômico e produção de energias renováveis: um breve estudo empírico. **Revista de Economia Mackenzie**, v. 17, n. 2, p. 12–26, 2020.
- MORAES, R.; GALIAZZI, M. C.; RAMOS, M. G. Aprenderes do aprender: um exercício de análise textual discursiva. **Indagatio Didactica**, v. 5, n. 2, p. 868–883, 2013.
- NEOFYTU, H.; NIKAS, A.; DUCAS, H. Preparação para a transição energética sustentável: um índice de

avaliação multicritério. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2020.

NETO, J. d. P. B. **Ceará 2050: Ciência e Futuro**. 2023. Diário do Nordeste, Ideias. Disponível em: <https://www.ceara2050.ce.gov.br/artigos-e-publicacoes/recentes>. Acesso em: 19 nov. 2023.

NÓBREGA, L. N. O povo indígena anacé e o complexo industrial e portuário do pecém, no ceará: desenvolvimento e resistências no contexto da barbárie por vir. **Revista de Ciências Sociais**, v. 51, n. 2, p. 165–211, 2020.

PARRA, D.; VALVERDE, L.; PINO, J.; PATEL, M. K. Uma revisão sobre o papel, custo e valor dos sistemas de energia de hidrogênio para descarbonização profunda. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 101, p. 279–294, 2019.

SALLES, A. A. **Demora no licenciamento ambiental prejudica crescimento do país, afirma especialista**. 2023. Reportagem Felipe Moura. Atualizado em: 27 de Novembro de 2023. Disponível em: <https://brasil61.com/n/demora-no-licenciamento-ambiental-prejudica-crescimento-do-pais-afirma-especialista-pind233823>. Acesso em: 29 dez. 2023.

SANTOS, P. A. d. **Reelaboração étnica e novas redes de desenvolvimento no Nordeste brasileiro: a etnogênese Anacé e os projetos de grande escala da Costa do Pecém (CE)**. Tese (Doutorado), 2013.

SENEVIRATNE, S. e. a. Allowable co2 emissions based on regional and impact-related climate targets. **Nature**, v. 529, 2016.

SORJ, P.; SANTIS, N. d. **Brasil precisa viabilizar o financiamento para o hidrogênio verde**. 2024. EPBR, coluna de opinião. Disponível em: <https://epbr.com.br/brasil-precisa-viabilizar-o-financiamento-para-o-hidrogenio-verde/>. Acesso em: 03 fev. 2024.

XU, Y.; RAMANATHAN, V.; VICTOR, D. Global warming will happen faster than we think. **Nature**, dez. 2018.

YIN, R. K. **Estudo de Caso. Planejamento e Métodos**. 5a ed.. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.