

**HIDROGÊNIO VERDE COMO MECANISMO PARA A
EFETIVAÇÃO DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO BRASIL****GREEN HYDROGEN AS A MECHANISM FOR THE REALIZATION OF THE
ENERGY TRANSITION IN BRAZIL**

Laís Maria Belchior Gondim

Mestranda em Direito, pela Universidade Federal do Ceará (UFC), 2023. Graduada em Direito, pela UFC. Membro participante do Grupo de Estudo em Direito e Assuntos Internacionais (GEDAI) (UFC), da Linha Direito Internacional e Meio Ambiente. E-mail: laismbg@hotmail.com.

João Luís Nogueira Matias

Doutor em Direito Público, pela UFPE. Doutor em Direito Comercial, pela USP. Professor titular da Faculdade de Direito da Universidade Federal do Ceará (UFC). Juiz Federal. E-mail: joaoluism@uol.com.br.

RESUMO

A conjuntura climática e energética mundial é preocupante. Tal cenário é demonstrado por inúmeras pesquisas científicas. Mediante isso, os países têm adotado medidas para solucionar essa situação. Considerando que grande parte da questão climática é causada pela alta taxa de emissões de gases do efeito estufa, a transição energética é relevante nesse processo. As mencionadas mudanças trazem numerosas consequências sociais e econômicas. Nesse sentido, o hidrogênio verde é uma alternativa possível. Ele pode ser utilizado em diversos setores como combustível e é obtido a partir da eletrólise da água, liberando poucos poluentes e nenhum gás carbônico para a atmosfera. O Brasil tem alto potencial de produção do H_2V pelas suas características geográficas. Entretanto, apesar das vantagens, há muitos desafios do seu uso, e a regulamentação ainda é escassa. A problemática da pesquisa consiste na análise do porquê da relevância desse composto como instrumento que viabiliza a transição energética. Objetiva-se examinar as razões que indicam a importância de um marco normativo claro acerca do assunto. Quanto à metodologia, trata-se de estudo qualitativo, teórico-bibliográfico e documental sobre o tema, investigando, a partir do método indutivo, artigos, periódicos, teses, dissertações, documentos e literatura nacionais e internacionais. Busca-se responder as seguintes perguntas: Como se podem relacionar aspectos climáticos

e econômicos com a transição energética? De que maneira o hidrogênio verde está sendo utilizado para atingir esse fim? Por que é importante regulamentá-lo? A estrutura do artigo é dividida em quatro partes. Primeiro examina-se a ligação entre clima e energia e os impactos econômicos da transição energética. Depois se investiga o H₂V, suas particularidades, pontos positivos, negativos e o modo como ele está sendo aplicado. Em seguida, discutem-se as normas e os projetos sobre o tema e os fundamentos que explicam sua pertinência como instrumento para viabilizar tal processo. Por fim, conclui-se que é imprescindível tal regulação, especialmente para proporcionar segurança jurídica, responsabilização na hipótese de danos, diminuição de riscos, esclarecimento acerca de questões de competência e efetivação da mudança energética. Outrossim, o H₂V vem crescendo bastante como combustível limpo viável; contudo, mais pesquisas são indispensáveis a fim de definir os métodos mais adequados a serem empregados de maneira a considerar fatores econômicos, sociais e ambientais, bem como de fato combater o problema.

Palavras-Chave: Hidrogênio Verde. Regulamentação. Transição Energética.

ABSTRACT

The global climate and energy situation is worrying. This scenario is demonstrated by numerous scientific studies. In view of this, countries have adopted measures to resolve this situation. Considering that a large part of the climate issue is caused by the high rate of greenhouse gas emissions, the energy transition is relevant in this process. These changes have numerous social and economic consequences. In this sense, green hydrogen is a possible alternative. It can be used in various sectors, as a fuel and is obtained from the electrolysis of water, releasing few pollutants and no carbon dioxide into the atmosphere. Brazil has high potential for H₂V production due to its geographical characteristics. However, despite the advantages, there are many challenges to its use and regulation is still scarce. The research problem consists of analyzing why this compound is relevant as an instrument that enables the energy transition. The objective is to examine the reasons that indicate the importance of a clear normative framework on the subject. As for the methodology, this is a qualitative, theoretical-bibliographical and documentary study on the subject, investigating, using the inductive method, articles, journals, theses, dissertations, documents and national and international literature. It seeks to answer the following questions: How can climate and economic aspects be related to the energy transition? How is green hydrogen being used to achieve this end? Why is it important to regulate it? The structure of the article is divided into four parts. First, the link between climate and energy and the economic impacts of the energy

transition are examined. Then, H2V is investigated, its particularities, positive and negative points and the way it is being applied. It then discusses the standards and projects on the subject and the rationale for their relevance as an instrument to enable this process. Finally, it is concluded that such regulation is essential specially to provide legal certainty, accountability in the event of damage, risk reduction, clarification on issues of competence and effectiveness of energy change. Furthermore, H2V has been growing as a viable clean fuel, but more research is needed to define the most appropriate methods to be employed in order to consider economic, social and environmental factors, as well as to actually tackle the problem.

Keywords: Green Hydrogen. Regulation. Energy Transition.

I INTRODUÇÃO

Atualmente, a situação global de emergência climática e energética é notória. Esse fato é apontado por várias pesquisas científicas. O relatório do Painel Intergovernamental sobre as Alterações Climáticas (IPCC) de 2023, por exemplo, aponta consequências, muitas vezes, já irreversíveis, como incêndios mais frequentes, acidificação dos oceanos e aumento do nível do mar. Esse documento traz que o problema decorre, em grande parte, das expressivas emissões de Gases do Efeito Estufa (GEEs) (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2023).

Mediante o cenário descrito, o mundo busca alternativas para combater tal entrave. Com essa finalidade, o Regime Internacional do Clima foi instituído formalmente pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC). Ademais, os países se reúnem anualmente, por meio das Conferências das Partes (COPs), para debater a respeito desses assuntos e sobre quais medidas podem ser tomadas para resolvê-los (ARAÚJO, 2016; MALJEAN-DUBOIS; WEMAËRE, 2015; SOUSA, 2021; BRASIL, 1998).

Nesse sentido, foi adotado, em 2015, na COP-21, o Acordo de Paris (AP), cujo fim é manter o aumento da temperatura global em menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais, visando a que esse aquecimento se limite a 1,5°C. O AP ambiciona um equilíbrio entre as emissões antrópicas e a absorção dos GEEs durante a segunda metade do século XXI, além da neutralidade carbônica, o que já demonstra certa preocupação ambiental (LEMOINE-SCHONNE, 2016; ONU, 2015).

Sob a mesma perspectiva, a União Europeia (UE) realizou ações com o mesmo objetivo. Surge, em 2019, o Pacto Ecológico Europeu (PEE), com vários instrumentos buscando tornar a economia da UE moderna, eficiente no uso de recursos e competitiva. O pacto trouxe como principal meta a neutralidade climática,

com crescimento desassociado da utilização de recursos, a fim de proporcionar uma transição justa e equitativa (CONSELHO EUROPEU, 2022; COMISSÃO EUROPEIA, 2019, [s. d.]).

Para alcançar a finalidade do AP, é essencial o processo de descarbonização do sistema energético mundial ainda muito dependente de fontes poluentes, como os combustíveis fósseis. Isso deve acontecer a partir do emprego de energias renováveis, principalmente em setores com alta demanda, como transporte e indústria (OLIVEIRA, 2022; INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2019). O setor de energia é o principal responsável pelos GEEs lançados na atmosfera, representando 72,9%, em 2016, em âmbito mundial (REIS, 2023). Isso evidencia a intrínseca relação entre energia e clima, já que a mudança da matriz energética é essencial para reduzir tais emissões.

Considerando o contexto exposto, as soluções de transição energética precisam estar alinhadas ao desenvolvimento sustentável. Uma resposta possível para essa questão, segundo pesquisa de 2019 da Agência Internacional de Energia (IEA), é o hidrogênio, o qual pode ajudar a atingir futuramente energia limpa, segura e acessível (OLIVEIRA, 2022; INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2019).

A sua produção pode se dar de diferentes maneiras. O mais frequente hoje é o cinza, obtido com utilização de combustíveis fósseis (gás natural). Se há filtro para captura dos GEEs, denomina-se azul. Porém, o método mais limpo envolve eletrólise da água, produzindo gás hidrogênio e gás oxigênio a partir de energias renováveis, especialmente solares e eólicas, dando origem ao hidrogênio verde (H₂V) (H2BRASIL, 2023; LUDWIG et al., 2021; EUROPEAN COMMISSION, [s. d.]).

O Brasil tem grande potencial para produzir o H₂V, devido às suas características, como extensão continental, peculiaridades regionais e condições favoráveis para fontes eólicas, solares e hídricas. Sobre o tema, o professor Alexandre Alves, chefe geral da Embrapa Agroenergia, afirmou que diversas iniciativas nesse seguimento têm tido lugar na Região Nordeste e que o País possui bastante biomassa de origem florestal passível de uso para geração do hidrogênio verde. Há projetos nesse tema em estados como Ceará (Porto do Pecém) e Pernambuco (Porto de Suape). Já o professor Paulo Emílio de Miranda, do Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Coppe da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) ressaltou a possibilidade de aplicar esse combustível compatibilizando-o com o motor elétrico (AGÊNCIA SENADO, 2023; OLIVEIRA, 2022).

O uso do H₂V pode auxiliar na descarbonização da economia e, por consequência, na mitigação dos entraves climáticos e ambientais. Seu impacto econômico é expressivo, porque se projeta que o tamanho de tal mercado seja de 2,5 trilhões de dólares em 2050, representando metade do atual setor de petróleo (ALVARENGA, 2021; BEZERRA, 2021; HYDROGEN COUNCIL, 2017).

No âmbito nacional, a regulamentação ainda é escassa. No entanto, há o Projeto de Lei nº 725, de 2022, o qual estabelece metas para inserir o hidrogênio nos gasodutos nacionais e o inclui na matriz brasileira como fonte energética, e na Lei nº 9.478, de 1997 (Lei do Petróleo), passando a ser regulado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Existe também o Projeto de Lei nº 1.878, de 2022, que trata de produção e uso do H₂V para fins energéticos (OLIVEIRA, 2022; BRASIL, 2022b).

A problemática deste artigo consiste em analisar por quais motivos o hidrogênio verde é relevante como instrumento que viabiliza a transição energética. A pesquisa em questão se justifica pela relevância da temática, em decorrência da contemporânea situação climática e ambiental de urgência e da possibilidade de utilização do H₂V para promover a transição energética, com o fito de mitigar os danos apontados.

Dessa forma, surgem questionamentos. Como se podem relacionar aspectos climáticos e econômicos com a transição energética? De que maneira o hidrogênio verde está sendo utilizado para atingir esse fim? Por que é importante regulá-lo?

Objetiva-se investigar as razões da necessidade de regular a produção e o uso do H₂V para efetiva modificação do sistema de energia, refletindo sobre seus aspectos positivos e suas dificuldades. No que tange à metodologia, com método indutivo, faz-se estudo qualitativo, teórico-bibliográfico e documental sobre o assunto, com avaliação de artigos, periódicos, teses, dissertações, documentos e literatura nacionais e internacionais.

Quanto à estrutura, o presente artigo será dividido em quatro partes. De início, examina-se a ligação entre clima e energia e os impactos econômicos da transição energética. Em seguida, investiga-se o hidrogênio verde, suas particularidades, vantagens, desvantagens e como ele está sendo empregado nesse processo. Depois, analisam-se as regulamentações e os projetos em curso e os motivos que explicam sua importância como instrumento para viabilizar tal mudança. Ao final, serão apresentadas as conclusões.

2 TRANSIÇÃO ENERGÉTICA: ESTRATÉGIA GLOBAL PARA A QUESTÃO CLIMÁTICA

É notório o hodierno cenário climático. Sabe-se também da contribuição das ações humanas para tal conjuntura, sobretudo com as emissões de gases do efeito estufa. Apesar de haver outras atividades econômicas responsáveis, como agropecuária, uso da terra e silvicultura, a principal é o consumo de energia. Logo, faz-se necessária uma mudança nesse setor, que é muito dependente dos combustíveis fósseis (REIS, 2023).

Dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) de 2022, com base no ano de 2021, apontam que 44,7% da energia utilizada no Brasil são renováveis. Quando se fala de eletricidade, essa porcentagem sobe para 78,1%, incluindo-se as importações. Esses números no mundo eram 15% e 28,6%, em 2020 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2022a, 2022b, [2022]).

Assim, medidas em relação à segurança energética, resiliência e energia acessível devem ser tomadas pelos governos, com a finalidade de combater as mudanças climáticas e garantir, ao mesmo tempo, o desenvolvimento sustentável. Urge que os países invistam em fontes renováveis menos poluentes, assim, os riscos podem ser atenuados (INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY, 2022).

Lado outro, os custos da economia global de um sistema centralizado nessa matriz aumentaram nos últimos anos, com a pandemia de Covid-19, e os preços do petróleo e do gás subiram com o conflito Rússia-Ucrânia. Isso em razão das sanções econômicas, comerciais e financeiras impostas contra a Rússia e particularmente sua indústria de gás e petróleo. Outro motivo é a grande dependência europeia do gás russo e a passagem dos gasodutos pelo território ucraniano. Por consequência, os países importadores tiveram de buscar novos fornecedores, seria uma grande oportunidade para acelerar o processo de mudança das fontes de energia (INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY, 2022; GENC; KOSEMPEL, 2023; CASTILHO, 2022).

É importante também mencionar que a transição energética pode trazer diversas consequências econômicas, a saber: aumento do Produto Interno Bruto (PIB), dos empregos na área, movimentação do comércio e gastos do consumidor como efeito indireto (INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY, [2019]; [2022]).

Essa passagem, contudo, é um desafio econômico e tecnológico. Não é tão simples, pois significa ruptura brusca a curto e médio prazo. Por mais que as alternativas mais limpas tenham diminuído custos, ainda estão em desenvolvimento e são muito frequentes as opções poluentes (GENC; KOSEMPEL, 2023; INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY, 2021; CASTILHO, 2022).

Sobre tal questão, Castilho (2022), em seus estudos, aponta que há complicações geopolíticas, sendo necessárias pesquisas sobre aspectos técnicos. Apesar disso, há autores, como Genc e Kosempel (2023), que veem na procura por fontes sustentáveis decorrentes do referido cenário uma tendência. Esse processo visa não só combater o problema ambiental, mas também garantir segurança, acesso, confiabilidade, acessibilidade e sustentabilidade energética. Ainda na visão desses últimos autores, é preciso que haja mais pesquisas para demonstrar a importância desse processo não apenas ambiental, mas também para o crescimento e desenvolvimento econômico (GENC; KOSEMPEL, 2023). Nesse sentido, já há atitudes de diversos países.

Como exemplos dessas, há na União Europeia o Plano REPowerEU, apresentado pela Comissão em maio de 2022 como ferramenta do Pacto Ecológico Europeu, juntamente com ações integradas para economizar energia, diversificar os fornecedores, acelerar a implantação de matrizes renováveis e atingir a eficiência energética. Os Estados-Membros aplicaram medidas para enfrentar o aumento dos preços ante a crise supracitada e a pandemia de Covid-19 (COMISSÃO EUROPEIA, 2022; H2BRASIL, 2023).

A UE buscou também aumentar a produção de energias solar e eólica, diminuindo, no entanto, a hidroelétrica, devido à seca recente. O bloco, no momento, está buscando parceiros confiáveis para fornecer energia, diversificando e assegurando o abastecimento energético a curto e médio prazo, até mesmo no que tange ao hidrogênio. Vale ressaltar que o Brasil tem grande potencial de produção do H_2V (COMISSÃO EUROPEIA, 2022; H2BRASIL, 2023).

Discorreu-se sobre a transição energética, relacionando-a a aspectos climáticos e trazendo seus possíveis impactos econômicos, bem como medidas práticas adotadas por países. Entende-se que esse processo é viável e necessário para reverter o atual contexto ambiental global e atenuar seus danos. Uma provável solução nessa matéria é o hidrogênio verde, que será tratado no próximo tópico.

3 HIDROGÊNIO VERDE: MECANISMO PARA EFETIVAÇÃO DA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

O hidrogênio é o elemento químico mais simples encontrado. É gasoso, incolor, inodoro e insípido; portanto, uma fuga é quase imperceptível. Adicionar compostos odoríferos, todavia, é inviável, pois comprometeria as células de combustível. Possui pequena massa atômica, baixa densidade e grande capacidade de armazenar energia (VAZ, 2021; HYDROGENTOOLS, [s. d.]; HYDROGEN FUEL CELL ENGINES AND RELATED TECHNOLOGIES, 2001).

É inflamável e sua forma mais estável é como gás H_2 . Não é tóxico, porém pode causar asfixia em caso de grande fuga em ambiente fechado, já que se caracteriza por se difundir rapidamente. É um risco que se torna menor em lugares abertos, em razão da alta taxa de difusão desse gás. Por isso, este é considerado um combustível seguro, porque, se houver fuga, ele se dispersará, e o perigo de explosão se reduzirá (VAZ, 2021; HYDROGENTOOLS, [s. d.]; HYDROGEN FUEL CELL ENGINES AND RELATED TECHNOLOGIES, 2001).

Apesar de ser o elemento químico mais comum no universo e o quarto mais presente na Terra, o hidrogênio costuma estar associado a outras substâncias, na forma de moléculas, como a água (H_2O). Sua aplicação se dá, por exemplo, como matéria-prima, vetor de transporte, armazenamento de energia, combustível e em setores de indústria e edifícios. Para obter o composto que funciona como

combustível (H_2 ou gás hidrogênio), é necessário o emprego de energia e de tecnologias adequadas (COMISSÃO EUROPEIA, 2020; BEZERRA, 2021).

De acordo com a matriz energética utilizada para produzi-lo, ele pode ser classificado por um código de cores. O hidrogênio considerado renovável é o verde, obtido a partir da eletrólise da água e com uso de energias limpas, como solar, eólica e hidráulica. Sua vantagem é que não emite gás carbônico e libera poucos poluentes atmosféricos, sendo, por consequência, uma solução para descarbonizar a economia e cumprir os objetivos do Acordo de Paris (BEZERRA, 2021; COMISSÃO EUROPEIA, 2020).

Há, no entanto, dificuldades a serem apontadas. Explica-se. O custo desse modelo renovável ainda não é competitivo em relação àquele que provém de combustíveis fósseis. Por isso, é preciso investir em tecnologias para baratear o processo e viabilizar seu uso, produção e distribuição em larga escala. Nesse sentido, há, na UE, a Aliança Europeia para o Hidrogênio Limpo, a qual funciona como reserva de investimentos. Com isso, o bloco objetiva não só alcançar a neutralidade climática, mas também atingir a segurança energética, por meio do armazenamento de energia pelo hidrogênio (COMISSÃO EUROPEIA, 2020).

No âmbito europeu, há também a Estratégia do Hidrogênio para uma Europa com Impacto Neutro no Clima de 2020, que estabeleceu o intuito de produzir até 10 milhões de toneladas de H_2V , e o plano REPowerEU, com o fito de complementar essa meta, contribuindo para aumentar a importação desse gás até 2030. A UE está estabelecendo parcerias internacionais, por exemplo, com o Brasil (COMISSÃO EUROPEIA, 2023a; MOLITERNO, 2023).

Para ilustrar, Ursula von der Leyen, presidente da Comissão Europeia, foi recebida no Brasil pela Presidência da República no Palácio do Planalto. Na ocasião, ela anunciou investimentos da UE no país visando à preservação da Amazônia, com vinte milhões de euros para o Fundo Amazônico, à produção de hidrogênio verde e à eficiência energética da indústria, com dois bilhões de euros (MOLITERNO, 2023; COMISSÃO EUROPEIA, 2023b).

De outro modo, o Governo do Estado do Ceará e o Banco de Desenvolvimento da América Latina (CAF) estudam uma cooperação para criar uma espécie de crédito para o hidrogênio verde, beneficiando o interior do Estado (MESQUITA, 2023).

O H_2V apresenta vantagens, a saber: pode ser produzido com flexibilidade, ser armazenado por longos períodos com baixo custo, ser transportado entre regiões e transformar eletricidade em combustível e vice-versa. Com isso, o uso de energias renováveis seria mais frequente e tornaria o sistema economicamente eficiente, além de evitar o consumo de combustíveis fósseis e assegurar segurança energética e autossuficiência. Reduziria ainda as emissões de GEE e a poluição sonora e da água, devido às suas características mencionadas (HYDROGEN COUNCIL, 2017).

É importante trazer também que essa transição tende a criar oportunidades no que tange ao crescimento econômico e sustentável. Estima-se a geração de grandes receitas anuais diretamente derivadas das vendas desse gás e indiretamente advindas de equipamentos, como veículos e máquinas, os quais são a base dele. Calcula-se também a criação de empregos na área (HYDROGEN COUNCIL, 2017).

Da mesma maneira, devem-se apresentar os desafios do H₂V. Há a questão do transporte e armazenamento, o que ainda é um problema, pelo alto custo atual, sendo imprescindíveis novas pesquisas e desenvolvimento de tecnologias. As transmissões por longas distâncias são difíceis pela sua baixa densidade e alta volatilidade, já que é mais leve que o ar. Para isso, uma solução existente é incorporá-lo a moléculas maiores, porém é preciso avaliar a forma mais viável econômica e ambientalmente (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2019; H2BRASIL, 2023).

Outra desvantagem é que tal gás é extremamente inflamável e explosivo, facilmente escapável e possui baixa densidade, exigindo sua compressão, liquefação ou conversão para melhor conduzi-lo. No entanto, sua forma líquida apenas se dá com uma temperatura de 252°C e seu transporte nessa condição só é 70% eficiente e demanda infraestrutura complexa (H2BRASIL, 2023; LUDWIG *et al.*, 2021).

Desse modo, examinou-se o hidrogênio verde, suas peculiaridades, vantagens, desafios e como está se dando seu emprego no processo de transição energética mundial. Atestou-se que ele possui muitas características positivas; entretanto, são fundamentais estudos complementares para torná-lo mais viável e eficiente.

4 NECESSIDADE DE REGULAMENTAÇÃO DA PROTEÇÃO E DO USO DO HIDROGÊNIO VERDE COMO INSTRUMENTO PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

Um ponto a ser ressaltado é alto potencial do Brasil para a produção de H₂V, principalmente a região Nordeste, em razão da ampla disponibilidade de matrizes renováveis, como eólica e solar, e dos portos bem localizados geograficamente quanto ao mercado europeu. A título de ilustração, há projetos no Ceará, no Rio Grande do Norte, em Pernambuco e na Bahia (OLIVEIRA, 2022).

Assim, o país adotou algumas políticas públicas sobre o tema. O Plano Nacional de Energia 2050, aprovado pelo Ministério de Minas e Energia em dezembro de 2020, traz o hidrogênio dentro da estratégia energética nacional, sendo elemento de interesse mediante a meta de descarbonização. Esse documento prevê ainda a perspectiva de misturar o hidrogênio nas redes de dutos próprios de gás natural desde que haja proporção e pressão adequadas com finalidade de transporte e armazenamento. É uma forma de demonstrar o papel desse gás na

política energética brasileira e estabelecer certos direcionamentos (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2021).

Em 2022, surgiu o Decreto nº 11.075, o qual criou o mercado regulado de carbono no Brasil, focando na exportação de créditos para países ou empresas as quais precisam cumprir os propósitos de emissão. Além disso, há também o Projeto de Lei (PL) nº 725, de 2022. Ele propõe a estipulação de metas para inserir o hidrogênio nos gasodutos nacionais e incluí-lo na matriz brasileira como fonte energética e na Lei do Petróleo (Lei nº 9.478, de 1977), para que passe a ser regulado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (OLIVEIRA, 2022).

Já o Projeto de Lei nº 1.878, de 2022, cria a política que regula a produção e o uso do H₂V no que tange à energia. Tal PL é de autoria da Comissão de Meio Ambiente e foi proposto, em 1º de julho de 2022, no Plenário do Senado Federal. Possui uma emenda datada de 13 de julho de 2022, a qual modifica algumas definições do artigo 2º do original, ampliando a definição anteriormente redigida de hidrogênio verde, alterando sua categorização para sustentável, ou seja, com carbono neutro ou negativo, pois há outras formas limpas de obter o referido gás. Acrescenta ainda o hidrogênio musgo, produzido a partir de biocombustível (BRASIL, 2022a, 2022b).

Esse PL de 2022 apresenta ao todo dezesseis artigos divididos em nove capítulos. Primeiro, explicita seu objetivo, conforme explicado acima. O segundo artigo contém conceitos necessários para a adequada interpretação da lei, como fontes renováveis, hidrogênio verde e eletrólise da água. Traz a ideia de Declaração de Interferência Prévia (DIP), a qual é emitida com o fito de identificar se há interferência de projetos de produção de H₂V em outras atividades ou instalações, permitindo transparência. Além disso, prevê a existência da Agência Financeira Oficial de Fomento (AFOF), entidade pública federal destinada a conceder financiamentos (BRASIL, 2022a). Esse dispositivo é importante para esclarecer o campo de atuação da norma futura e orientar sua aplicação.

O seu terceiro artigo compreende os fundamentos do processo em questão. São eles: interesse nacional, utilidade pública, segurança energética, proteção e defesa do meio ambiente, reponsabilidade no que concerne a impactos e externalidades causadas durante os procedimentos e economicidade do uso dos recursos naturais de maneira intergeracional (BRASIL, 2022a). Tais princípios estão consoantes o Acordo de Paris já citado e asseguram norte interpretativo, expondo o real escopo legal.

Posteriormente, fala de uma licença de produção de hidrogênio verde obtida da ANP, a qual permite a exploração de atividades econômicas relacionadas, desde que o interessado cumpra condições específicas, como licença ambiental e regularidade de débitos perante a fazenda pública e a ANP. Inclui ainda a possibilidade de anulação, cassação e revogação desta, bem como sua forma de emissão (BRASIL,

2022a). O fato de exigir que o produtor cumpra requisitos é relevante para reduzir os riscos explicados previamente.

Outrossim, o PL aborda a utilização de recursos hídricos, prevendo outorga com base em lei específica da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (BRASIL, 2022a). Esse tratamento é notável, tendo em vista que, como o H₂V é obtido por meio da eletrólise da água, conforme já explanado, é primordial o cuidado para impedir desperdício e uso inadequado dela.

Percebe-se a tentativa da adoção de uma norma que tem conteúdo válido e pertinente ante a escassez até o momento de regras sobre esse tema. Desse modo, a regulamentação da produção e do uso do hidrogênio verde é imprescindível. Alguns dos motivos para isso são os riscos trazidos no tópico anterior, como sua alta volatilidade e inflamabilidade. Embora tal tecnologia já tenha certo tempo de desenvolvimento, aumentar sua amplitude de utilização, como, por exemplo, no segmento energético, traz novos pontos a serem analisados, essencialmente quanto à economia e à segurança (BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL, 2022).

Em relação a isso, ações governamentais são indispensáveis para eliminar obstáculos, padronizar os processos e possibilitar incentivos e investimentos em infraestrutura. Uma norma clara poderá propiciar segurança jurídica tanto à indústria quanto aos consumidores. É preciso também definir qual órgão será responsável pela fiscalização e quais padrões deverão ser adotados para certificar os procedimentos e assegurar diminuição dos riscos de produção, distribuição e transporte (OLIVEIRA, 2022; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2021).

Demonstrou-se, nesse tópico, a primordialidade de um marco regulatório com relação à produção e ao uso do hidrogênio verde, com diversas justificativas, como segurança jurídica para ambas as partes, diminuição de riscos inerentes às suas características e viabilização do processo de mudança de matriz energética.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atual situação de emergência climática é inequívoca, e suas consequências estão cada vez mais frequentes e intensas. Diante desse cenário, os países passaram a adotar medidas para combater tal problema, a exemplo do Acordo de Paris e das Conferências das Partes. Estabeleceram-se nessas reuniões metas para frear os impactos, como a descarbonização da economia e redução de emissões dos gases do efeito estufa.

Considerando a alta taxa global de utilização de combustíveis fósseis como uma das principais causas desses entraves, viu-se a importância da transição energética para efetivar tais objetivos, ficando clara, portanto, a ligação entre clima e energia.

No decorrer dessa mudança, há impactos econômicos visíveis, como alterações de PIB, geração de empregos na área e segurança, à medida que há diversificação das fontes, como se observa no exemplo da União Europeia com o Pacto Ecológico Europeu e seus desdobramentos. É um desafio econômico e tecnológico; no entanto, possível e inevitável.

Assim, o hidrogênio verde, obtido por intermédio da eletrólise da água a partir do uso de energias renováveis, surge como alternativa possível. É importante ressaltar que sua utilização traz vantagens, como flexibilidade, armazenamento por longo tempo e a baixo custo e possibilidade de ser utilizado como combustível. Porém, também há desvantagens, como ter transporte difícil pela densidade reduzida e alta volatilidade, assim como ser muito inflamável e explosivo.

Apesar disso, a utilização do H₂V pode ser muito positiva. Seu emprego é uma opção viável; contudo, é visível serem primordiais mais pesquisas e desenvolvimento de tecnologia para seu transporte e armazenamento apropriado, por exemplo, tendo em vista suas peculiaridades como substância química. Já há, atualmente, previsão de acordos e instrumentos jurídicos para tal fim.

O Brasil, pela grande matriz energética renovável, tem alto potencial para produzir o H₂V, precipuamente na região Nordeste. Porém sua regulação ainda é escassa, apesar de haver algumas políticas públicas e projetos de lei pendentes no âmbito nacional.

Nesse contexto, é evidente a necessidade de regulamentação da produção e do uso do H₂V, especialmente para promover segurança jurídica, redução de riscos, responsabilização em caso de danos, competência de fiscalização e normatização, bem como viabilizar o processo de transição energética.

Dessa forma, é inegável o crescimento do H₂V como possível combustível limpo a ser empregado. Todavia, é fundamental que haja pesquisas mais aprofundadas para definir quais métodos sejam mais adequados à sua produção, transporte, armazenamento e uso. Deve-se atentar para seus impactos e balizar a viabilidade econômica e ambiental, a fim de realmente atenuar as emissões de GEE, minimizar a problemática apontada e efetivar a mudança de matriz energética referida.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA SENADO. Brasil tem grande potencial de produção de hidrogênio verde, dizem especialistas. **Senado Federal**. Brasília. 17 maio 2023. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2023/05/17/brasil-tem-grande-potencial-de-producao-de-hidrogenio-verde-dizem-especialistas>>. Acesso em: 6 jun. 2023.

ALVARENGA, Paulo. O Hidrogênio Verde e a transição para uma economia de baixo carbono. **Revista Brasil Alemanha**: Especial Hidrogênio Verde, [S. l.], ano

29, n. 1, p. 42-45, out. 2021. Disponível em: <https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/d9/97/d9973c83-a742-4039-9e56-3e1c5dcba795/revistabrasilalemanha.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2023.

ARAÚJO, Beatriz Azevêdo de. **O regime internacional do clima e as implicações para o Brasil**: o desafio do Acordo de Paris. 2016. 97 f. Monografia (Graduação em Direito) - Faculdade de Direito, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/25099>>. Acesso em: 5 jun. 2023.

BEZERRA, Francisco Diniz. Hidrogênio Verde: nasce um gigante no setor de energia. **Caderno Setorial Etene: Banco do Nordeste**. [S. L.], p. 1-13. dez. 2021. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1109/1/2021_CDS_212.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2023.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). **Hidrogênio de baixo carbono**: oportunidades para o protagonismo brasileiro na produção de energia limpa. Rio de Janeiro, 2022. 113 p. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/22665/1/PRLiv_Hidrog%C3%AAnio%20de%20baixo%20carbono_215712.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2023.

BRASIL. **Decreto nº 2.652, de 1º de julho de 1998**. Promulga a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, assinada em Nova York, em 9 de maio de 1992. Brasília, 1º jul. 1998. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2652.htm>. Acesso em: 5 jun. 2023.

BRASIL. Senado Federal. **Emenda nº 1** (ao PL nº 1878, de 2022). Brasília, 2022. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=9186287&ts=1681996223933&disposition=inline&_gl=1*_xyn9cw*_ga*OTg5MzkyNTU2LjE2ODEzMjE1NjQ.*_ga_CW3ZH25XMK*MTY4Njg3Mj-Q0Mi40LjEuMTY4Njg3MjkyNi4wLjAuMA..>. Acesso em: 15 jun. 2023. (a)

BRASIL. Senado Federal. **Atividade Legislativa**: Projeto de Lei nº 1878, de 2022. Brasília, 2023. Disponível em: <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/153923>>. Acesso em: 6 jun. 2023.

BRASIL. Senado Federal. **Projeto de Lei nº 1878, de 2022**. Brasília, 2022. Disponível em: <<https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=9180876&ts=1658512959345&disposition=inline>>. Acesso em: 15 jun. 2023. (b)

CASTILHO, Filipe Philipps. Energia, guerra e transição: a guerra da Ucrânia e os novos paradigmas do consumo energético. **Revista Conjuntura Global**, [S. l.], v.

11, n. especial, p. 63–78, 2022. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/conjglobal/article/view/86616>>. Acesso em: 8 jun. 2023.

COMISSÃO EUROPEIA (União Europeia). **Comunicação da Comissão do Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões: Estratégia do Hidrogénio para uma Europa com Impacto Neutro no Clima.** Bruxelas, 08 jul. 2020. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0301>>. Acesso em: 12 jun. 2023.

COMISSÃO EUROPEIA (União Europeia). **Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões: Pacto Ecológico Europeu.** Bruxelas, 11 dez. 2019. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A52019DC0640&qid=1685383999175>>. Acesso em: 29 maio 2023.

COMISSÃO EUROPEIA (União Europeia). **Comunicação da Comissão do Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões: sobre o Banco Europeu do Hidrogénio.** Bruxelas, 16 mar. 2023. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A52023DC0156&qid=1686578595934>>. Acesso em: 12 jun. 2023. (a)

COMISSÃO EUROPEIA (União Europeia). **O Pacto Ecológico Europeu: Tentar ser o primeiro continente com um impacto neutro no clima.** [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_pt#:~:text=O%20Pacto%20Ecol%3%B3gico%20Europeu%20ir%C3%A1,saud%C3%A1veis%20e%20a%20pre%C3%A7os%20access%C3%ADveis>. Acesso em: 29 maio 2023.

COMISSÃO EUROPEIA (União Europeia). **Relatório da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões: Estado da União da Energia 2022 (nos termos do Regulamento (UE) 2018/1999 relativo à Governação da União da Energia e da Ação Climática).** Bruxelas, 18 out. 2022. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022DC0547&from=EN>>. Acesso em: 08 jun. 2023.

COMISSÃO EUROPEIA (União Europeia). Statement by President von der Leyen at the joint press conference with Brazilian President Lula da Silva. Brasília, 12 jun. 2023. Disponível em: <https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/statement_23_3210>. Acesso em: 12 jun. 2023.

CONSELHO EUROPEU (União Europeia). **Alterações climáticas**: medidas que a UE está a tomar. [S. l.], 26 abr. 2022. Disponível em: <<https://www.consilium.europa.eu/pt/policies/climate-change/>>. Acesso em: 5 jun. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **ABCD Energia**: Matriz Energética e Elétrica. [S. l.], [2022]. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica#:~:text=Fontes%20renov%C3%AAlveis%20como%20solar%2C%20e%C3%B3lica,as%20renov%C3%AAlveis%20totalizam%20aproximadamente%2015%25>>. Acesso em: 8 jun. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço Energético Nacional (BEN)**: Relatório Final 2022 Ano base 2021. [S. l.]: EPE, 2022. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>>. Acesso em: 8 jun. 2023. (a)

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço Energético Nacional (BEN)**: Relatório Síntese 2022 Ano base 2021. [S. l.]: EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2023. (b)

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio**. Brasília: EPE, 23 fev. 2021. 36 p. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/Hidroge%CC%82nio_23Fev2021NT%20\(2\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/Hidroge%CC%82nio_23Fev2021NT%20(2).pdf)>. Acesso em: 15 jun. 2023.

EUROPEAN COMMISSION (European Union). **Energy: Hydrogen**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen_en>. Acesso em: 6 jun. 2023.

GENC, Talat S.; KOSEMPEL, Stephen. **Energy Transition and the Economy: A Review Article**. Energies, [S. l.], v. 16, n. 7, p. 2965, 2023. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1996-1073/16/7/2965>>. Acesso em: 8 jun. 2023.

H2BRASIL. Expansão do hidrogênio verde. Cooperação Brasil-Alemanha Para O Desenvolvimento Sustentável. **Avaliação do potencial da indústria brasileira para o desenvolvimento da cadeia de valor do Hidrogênio Verde com foco no Estado do Ceará**: relatório I - cadeia de valor do hidrogênio verde. Brasília: H2Brasil, 2023. 86 p. Disponível em: <https://ahk-portalh2-prod-cdn.azureedge.net/uploads/2023/05/RelatorioI_Cadeia_Valor_H2V_Ceara_2023.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2023.

HYDROGEN COUNCIL. **Hydrogen scaling up: a sustainable pathway for the global energy transition.** [S. l.]: Hydrogen Council, 2017. 80 p. Disponível em: <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2017/11/Hydrogen-Scaling-up_Hydrogen-Council_2017.compressed.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2023.

HYDROGEN FUEL CELL ENGINES AND RELATED TECHNOLOGIES. **Module 1: Hydrogen Properties.** [S. l.]: College of the Desert, 2001. Disponível em: <https://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/tech_validation/pdfs/fcm01r0.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2023.

HYDROGENTOOLS. **Hydrogen Compared with Other Fuels.** [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <<https://h2tools.org/hydrogen-compared-other-fuels>>. Acesso em: 12 jun. 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023. Synthesis Report of The IPCC Sixth Assessment Report (AR6). Summary for Policymakers.** 2023. Disponível em: <https://report.ipcc.ch/ar6syr/pdf/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2023.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Financing Clean Energy Transitions in Emerging and Developing Economies.** [S. l.]: IEA, 2021. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/6756ccd2-0772-4ffd-85e4-b73428f-f9c72/FinancingCleanEnergyTransitionsinEMDEs_WorldEnergyInvestment2021SpecialReport.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **The future of hydrogen: Seizing today's opportunities.** Paris: IEA, 2019. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The_Future_of_Hydrogen.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2023.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Energy and Jobs.** [S. l.], [2022]. Disponível em: <<https://www.irena.org/Energy-Transition/Socio-economic-impact/Energy-and-Jobs>>. Acesso em: 8 jun. 2023.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Macroeconomic Benefits.** [S. l.], [2019]. Disponível em: <<https://www.irena.org/Energy-Transition/Socio-economic-impact/Macroeconomic-Benefits>>. Acesso em: 8 jun. 2023.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **World Energy Transitions Outlook 2022: 1.5°C pathway,** international renewable energy agency. Abu Dhabi, 2022. 352 p. Disponível em: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Mar/IRENA_World_Energy_Transitions_

Outlook_2022.pdf?rev=6ff451981b0948c6894546661c6658a1>. Acesso em: 7 jun. 2023.

LEMOINE-SCHONNE, Marion. La flexibilité de l'Accord de Paris sur les changements climatiques. **Revue juridique de l'environnement**, [S.l.], v. 41, n. 1, p. 37-55, 2016. Disponível em: <<https://www.cairn.info/revue-juridique-de-l-environnement-2016-1-page-37.htm#re22no22>>. Acesso em: 5 jun. 2023.

LUDWIG, Max et al. The Green Tech Opportunity in Hydrogen. **Boston Consulting Group (BCG)**. [S. l.]. 12 abr. 2021. Disponível em: <<https://www.bcg.com/publications/2021/capturing-value-in-the-low-carbon-hydrogen-market>>. Acesso em: 6 jun. 2023.

MALJEAN-DUBOIS, Sandrine; WEMAËRE, Matthieu. **La diplomatie climatique de Rio 1992 à Paris 2015**. [S.l.]: Editions A. Pedone, 2015. Disponível em: <<http://pedone.info/762/Cop21.html>>. Acesso em: 5 jun. 2023.

MESQUITA, Carolina. Ceará e CAF negociam crédito para hidrogênio verde e produção de energia renovável no Interior: Uma das definições em aberto é se a operação seria voltada para pequenos empreendedores ou para iniciativas de médio e grande porte. **Diário do Nordeste**. Fortaleza. 11 jun. 2023. Disponível em: <<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/negocios/ceara-e-caf-negociam-credito-para-hidrogenio-verde-e-producao-de-energia-renovavel-no-interior-1.3379302>>. Acesso em: 12 jun. 2023.

MOLITERNO, Danilo. Ursula von der Leyen anuncia investimentos para Amazônia e produção de hidrogênio verde no Brasil: Alemã teve reunião bilateral com o presidente Lula nesta tarde; entre os temas tratados estiveram as mudanças climáticas, a Floresta Amazônica e matrizes energéticas. **CNN Brasil**. São Paulo. 12 jun. 2023. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/economia/ursula-von-der-leyen-anuncia-investimentos-para-amazonia-e-producao-de-hidrogenio-verde-no-brasil/>>. Acesso em: 12 jun. 2023.

OLIVEIRA, Rosana Cavalcante de. TD 2787 - Panorama do hidrogênio no Brasil. **Texto Para Discussão**, [S.l.], p. 1-59, 4 ago. 2022. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA. <http://dx.doi.org/10.38116/td2787>. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11291/1/td_2787_web.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Acordo de Paris. Nova York, 12 dez. 2015**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-08/Acordo-de-Paris.pdf>>. Acesso em: 29 maio 2023.

REIS, Fernando Simões dos. **Mudanças climáticas e transição energética justa:** reflexões sobre a atuação do TCU. 2023. Monografia (Especialização em Controle da Desestatização e da Regulação) – Instituto Serzedello Corrêa, Escola Superior do Tribunal de Contas da União, Brasília DF. 101 fl.

SOUSA, Luan Oliveira de. **A emergência do direito climático no mundo:** a litigância climática como instrumento para a efetivação do acordo de Paris. 2021. 58 f. Monografia (Graduação em Direito) - Faculdade de Direito, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/58936/1/2021_tcc_losousa.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2023.

VAZ, Paulo Alexandre Nogueira. **O papel do hidrogénio na transição energética da União Europeia:** estudo de casos. 2021. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Energias Renováveis e Eficiência Energética, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Bragança, 2021. Disponível em: <https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/24503/1/Paulo_Vaz.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2023.

Recebido em: 28/09/2023

Aprovado em: 08/11/2023