

A urgência pela descarbonização climática das economias globais e o papel do hidrogênio verde brasileiro

Isabela Temístocles Gomes¹

Resumo

Mediante a busca do regime internacional de mudanças climáticas pelo estabelecimento de normas, regulamentações e controle das alterações no clima em uma escala multilateral, a transição energética se coloca como essencial para que impactos humanos no ambiente sejam mitigados. Inserido neste contexto, e apesar de ainda em estágio inicial, o mercado de hidrogênio verde tem sido visto como importante alternativa energética às fontes fósseis, principalmente em setores de difícil descarbonização. O presente artigo propõe a analisar o protagonismo do hidrogênio verde como alternativa energética sustentável no processo de descarbonização climática dos países, e o status do desenvolvimento deste setor no Brasil.

Palavras-chave: hidrogênio verde; transição energética; descarbonização climática; sustentabilidade.

Abstract

Through the international climate change regime's quest to establish norms, regulations and control climate change on a multilateral scale, the energy transition is essential for human impacts on the environment to be mitigated. Inserted in this context, and though still at an early stage, the green hydrogen market has been seen as an important energy alternative to fossil sources, especially in sectors where decarbonization is difficult. This article aims to analyze the role of green hydrogen as a sustainable energy alternative in the climate decarbonization process of countries, and the status of the development of this sector in Brazil.

Keywords: green hydrogen; energy transition; climate decarbonization; sustainability.

¹ Universidade Federal do ABC - isabela.temistocles@aluno.ufabc.edu.br.

“De forma condizente com as proporções continentais do país e com um mundo cada vez mais multipolar, a política externa brasileira precisa voltar a ser independente e de caráter global” (BATISTA JR., 2021, p. 405).

Introdução

A Guerra da Rússia na Ucrânia, e a conseqüente aceleração, por países europeus, em sua busca por independência energética em relação à Rússia, é um exemplo recente de como a promoção de uma profunda mudança nas matrizes energéticas dos países, um dos grandes objetivos estabelecidos pelo regime climático, se situa como uma questão ambiental que evidencia fraturas geopolíticas dos países (VEIGA, 2015). Tendo a guerra desencadeado “a maior disrupção nos mercados globais de energia desde a crise do petróleo de 1973” (MORTIMER, 2022), destaca-se como a transição energética representa uma busca por novas alternativas e novos mercados – sendo possível questionar, assim, o papel do hidrogênio verde brasileiro na descarbonização climática internacional.

Entendido como o hidrogênio produzido a partir da eletricidade oriunda de fontes de energia renováveis (como as de matriz eólica, solar, e provenientes de biomassa e biogás), ou seja, sem emissão de gás carbônico (CO₂), o hidrogênio verde se apresenta como solução que detém altas expectativas para a descarbonização em setores de difícil redução de emissões, como o industrial e de transportes – afinal, o hidrogênio possui diversas aplicações energéticas e industriais, tanto armazenando energia quanto sendo utilizado para o refino de petróleo, a produção de amônia, e a geração de calor industrial. Neste contexto, o Brasil se destaca como um país que possui uma matriz energética composta por 48,4% de fontes renováveis na matriz energética, de forma que a produção de hidrogênio verde no país poderia se beneficiar da rede já existente (GURLIT et al, 2021).

Sendo a principal meta do Acordo de Paris, firmado em 12 de dezembro de 2015 durante a COP 21, limitar o aquecimento global a bem abaixo de 2, de preferência a 1,5 graus Celsius, em comparação aos níveis pré-industriais, este artigo tem como objetivo analisar o desenvolvimento do mercado de hidrogênio verde no Brasil como estratégia de descarbonização internacional. A partir de uma introdução quanto ao atual cenário energético sob a perspectiva da descarbonização climática, pretende-se situar o estágio dos países perante os compromissos, a serem indicados, que devem ser cumpridos pelos países signatários do Acordo de Paris. Ademais, o artigo apresenta um panorama e conseqüente exemplificação, no Brasil e em outros países, do estabelecimento de políticas de descarbonização a partir do hidrogênio verde, visando compreender a expressão deste vetor energético no cumprimento do Acordo.

Para alcançar tais objetivos, foram levantados documentos e acordos relevantes à transição energética e à descarbonização climática, estabelecidos no regime climático internacional – com destaque para os pontos e objetivos estabelecidos no Acordo de Paris. Para avaliar o status atual do mercado de hidrogênio verde no Brasil e no mundo, se utilizou como referência dados levantados, por exemplo, pelo think-tank GESEL (Grupo de Estudos do Setor Elétrico), como maneira a mapear políticas públicas e financiamentos em andamento, além de declarações por parte do governo brasileiro, emitidas principalmente pelo Ministério de Minas e Energia (MME), e pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

Também foram consideradas, na contextualização e análise da pesquisa, considerações e contribuições relacionadas a um desenvolvimento sustentável, assim como perspectivas que consideram as dinâmicas de poder desiguais no sistema internacional, contribuindo para a compreensão da inserção do Brasil no tema.

O atual cenário energético sob perspectiva da descarbonização climática

Tendo o amadurecimento das discussões sobre aquecimento global ocorrido, na agenda internacional, somente a partir dos anos 1990, o regime climático (principal dos regimes ambientais) passou a ter maior articulação coletiva no decorrer dos anos. Compreendendo regimes como “princípios, normas, regras e procedimentos de tomada de decisões de determinada área das relações internacionais em torno dos quais convergem as expectativas dos atores” (KRASNER, 2012), destaca-se a Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas (UNFCCC, em inglês), o Protocolo de Kyoto, a Emenda de Doha e o Acordo de Paris, como formas institucionais do regime climático internacional.

Mediante a busca deste regime pela normatização, regulamentação e controle das mudanças climáticas em escala transnacional (SOUZA, 2017), a transição energética se tornou essencial para que os objetivos estabelecidos pelo regime sejam alcançados. Segundo a ONU, por exemplo, em seu relatório “Theme Report on Energy Transition”, “a transição energética é um facilitador crucial do desenvolvimento sustentável e da resiliência climática” (ONU, 2021, p. VI). Apesar do reconhecimento da importância da transição, outras perspectivas chegam a ir além: a Agência Internacional para as Energias Renováveis já discute o termo “transição”, e defende a utilização da expressão “transformação energética”, em decorrência da emergência de diferentes combustíveis sendo utilizados, que envolvem um contexto mais amplo, complexo e integrado (IRENA, 2019).

Considerando a existência de uma “complementaridade entre o desenvolvimento de fontes de energia renováveis como uma maneira de garantir segurança energética aos países, e as questões

ambientais atreladas ao tema” (LEITE et al, 2020, p. 398), é possível dizer que políticas no setor de energia são amplamente influenciadas por acordos internacionais. Assim, a busca pela transformação do setor energético em direção à fontes renováveis de energia, no lugar de sistemas de energia baseados em fontes fósseis, é estabelecida como uma corrida contextualizada a partir de motivações tanto geopolíticas quanto ambientais.

Exemplo recente deste processo é possível de ser observado na defesa da Comissão Europeia à ação de “REPowerEU”, que indica a ambição da Europa pela ampliação de sua segurança energética, focada na independência de combustíveis fósseis russos antes do ano de 2030. À luz da invasão da Ucrânia pela Rússia, de 24 de fevereiro de 2022, a Comissão publicou, em 08 de março, um esboço de plano para a independência energética, defendendo que “quanto mais cedo e mais decisivamente diversificarmos nossa oferta, acelerarmos a implantação de tecnologias de energia verde e reduzirmos nossa demanda de energia, mais cedo poderemos substituir o gás russo” (Comissão Europeia, 2022).

Desta forma, sendo a cooperação multilateral, o regime internacional, a segurança energética e o meio-ambiente temas intrinsecamente ligados (LEITE, 2020), tem-se observado uma movimentação cada vez mais intensa na diversificação de matrizes – processo este principalmente liderado pela Europa.

A busca por novas fontes evidencia como o cenário energético e geopolítico mostram uma

matriz energética que se encontra em período de transição/transformação a partir do crescimento simultâneo do uso de gás (convencional e não convencional) e de novas energias renováveis (eólica e solar) (GUERREIRO, 2021, p. 2).

Isso se reflete, por exemplo, na diminuição de emissões de carbono advindas de usos energéticos, que caíram 6,3% no ano de 2021 (maior declínio desde o final da Segunda Guerra Mundial), e na queda em 5,2% da produção global de carvão, em contraste com o aumento em 9,7% do uso de as energias renováveis. Apesar de ser uma tendência possível de ser questionada em curto prazo devido ao atual cenário geopolítico, marcado pela busca imediata na Europa por fontes que substituam as de origem russa (incluindo fontes poluentes, como carvão), a busca por uma economia zero (ou até mesmo negativa) carbono tem sido cada vez mais, reconhecida por leis e normas – extrapolando, assim, da esfera do incentivo e da recomendação.

Neste contexto, o regime internacional de mudanças climáticas se coloca como o meio pelo qual as metas de transição energética têm se instituído. Normatizado pela Convenção Quadro das Nações Unidas sobre o Clima (UNFCCC, em inglês) há exatos 30 anos, na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (também conhecida como Rio-92), o regime tem como principal objetivo “estabilizar o sistema climático global e conter

o aquecimento da temperatura do planeta, causado por emissões de gases de efeito estufa (GEE)” (REI et al, 2017, p. 83).

Para além da UNFCCC, o regime de mudanças climáticas é estruturado por outros três documentos: o Protocolo de Kyoto, acordo pela redução da emissão de gases do efeito estufa aprovado em 1997, em vigor a partir de 2005, e com seu primeiro período de redução de emissões em 2012 sem grandes avanços; a Emenda de Doha, extensão do Protocolo estipulada nos períodos de 2013 a 2020; e o Acordo de Paris, aprovado em 2015 e substituição ao Protocolo de Kyoto, com objetivo de

manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais e buscar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais, reconhecendo que isso reduziria significativamente os riscos e impactos das mudanças climáticas (UNFCCC, 2015, p. 26).

Ratificado por 196 países, o item II do Acordo reitera as Contribuições Nacionalmente Determinadas (CNDs), estipuladas por cada país previamente à COP 21. Considerando o limite máximo a 1,5°C estipulado, é de conhecimento que países terão de realizar esforços extras, visto que as CNDs apresentadas “são insuficientes para atingir as metas de contenção da temperatura global” (ROGELJ, 2016). Vale salientar que o acordo reconhece a cooperação por meio de aportes financeiros, assim como a transferência de tecnologia e a adoção de metas absolutas de redução de emissões por parte de países desenvolvidos (REI et al, 2017).

Perante esta estrutura jurídica, é importante pontuar que, conforme Krasner (2012), os regimes não são meros epifenômenos, e de fato afetam comportamentos e resultados. Em contrapartida, porém, é preciso avaliar a atuação dos regimes nas dinâmicas de poder entre os Estados. Stein e Keohane defendem que “os regimes podem ter impacto quando resultados pareto-ótimos não poderiam ser alcançados por meio de ações individuais não coordenadas” (Ibid, p. 98) – o que pode ser observado, de fato, a partir da relação dos Estados Unidos com o Acordo de Paris e com o regime climático em geral. Apesar de terem restabelecido seu comprometimento com o Acordo após a posse de Joe Biden, os EUA haviam sido o único dos 196 países a terem cortado seus compromissos como signatários.

Segurança energética, sustentabilidade e hidrogênio verde: aplicações e desafios

A busca por fontes energéticas economicamente viáveis e baixo impacto ambiental tem revolucionado a pesquisa e a inovação energética nos últimos anos. Resultado deste movimento, e ainda em estágio inicial, o mercado de hidrogênio verde tem sido visto como importante

alternativa voltada à emissão zero das economias globais. Segundo a Comissão Europeia, espera-se que o hidrogênio desempenhe um papel importante nos objetivos da União Europeia de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa em mínimo de 55% até 2030 e de atingir zero emissões líquidas até 2050 (EUROPEAN COMMISSION, 2020) – o que pode colocar o Brasil como um dos países mais competitivos neste setor, fato que evidencia a importância de compreender o desenvolvimento deste mercado no país e seu potencial a partir de estratégias de descarbonização dos países no sistema internacional.

Largamente utilizado na indústria, o hidrogênio é o elemento químico mais abundante do universo. Por não existir de forma isolada na natureza, existem diferentes métodos para sua obtenção, que se podem agrupar segundo suas características comuns: os combustíveis fósseis, água e biomassa (VALENCIA-BOTERO, 2013). Já possuindo um mercado global de US\$120 bilhões, seu uso se concentra principalmente em refinarias de petróleo e na produção de amônia para fertilizantes, sendo a maior parte oriunda de fontes fósseis. Como consequência de sua utilização, a produção de hidrogênio é responsável pela emissão de 830 milhões de toneladas de dióxido de carbono por ano (MtCO_2/ano), equivalente às emissões de CO_2 da Indonésia e do Reino Unido combinadas (IEA, 2019).

O hidrogênio verde, portanto, tem sido uma das grandes apostas para a redução de emissões dos países, tendo em vista o papel relevante que poderá vir a ter na descarbonização de setores-chave como o de transportes e da indústria, além da atuação na descarbonização de calor nas edificações e na produção de matérias-primas limpas. O hidrogênio verde permite, também, o desenvolvimento de novos mercados através de aplicações emergentes, criando soluções viáveis para, por exemplo, sistemas Power-to-X (conversão de energia elétrica em outra forma de energia armazenável), e-fuel para aviação, efeitos de injeção de energias variáveis etc.

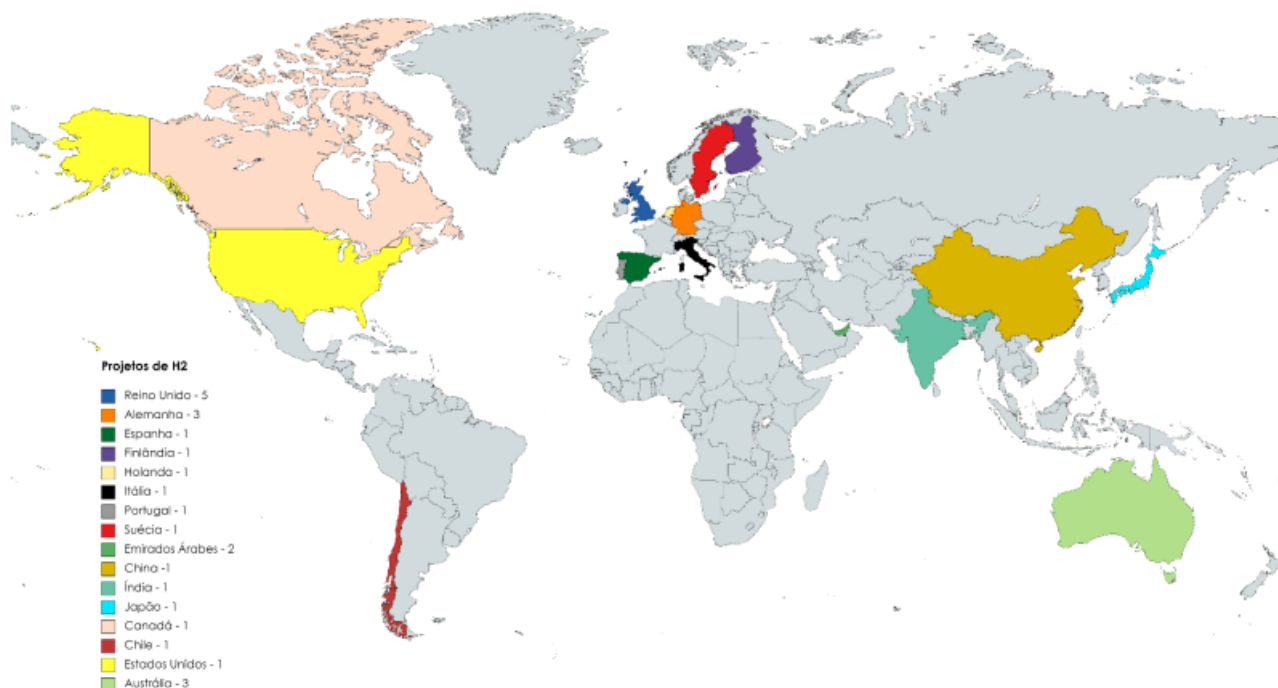
Por ser uma nova tecnologia, existem desafios a serem enfrentados para que sua disseminação se torne cada vez mais possível. Não tendo os custos de produção competitivos se comparado a concorrentes, como o hidrogênio cinza, e fazendo parte de uma indústria intensiva em capital, o hidrogênio verde ainda precisa ter as despesas de operação e de capital reduzidas, além de demandar o desenvolvimento de diferentes medidas de padronização, regulação, segurança e comercialização. Também vale mencionar o tema da certificação em hidrogênio verde ou de baixo carbono, e a precificação de carbono para fomentar a busca por este hidrogênio – importantes gargalos a serem superados pelo mercado.

Hidrogênio verde e a inserção internacional brasileira nas perspectivas globais de descarbonização

Reconhecidamente, a matriz energética brasileira muito se distingue de matrizes energéticas de outros países. Apesar de ainda possuir, em grande parte, o consumo de energias não renováveis, o Brasil utiliza mais fontes renováveis do que o resto do mundo – representando 48,4% da repartição da Oferta Interna de Energia em 2020 (EPE, 2021). Este fato é relevante pois, segundo a Agência Internacional de Energia (2019),

Com custos decrescentes para geração de energia solar fotovoltaica e eólica, a construção de eletrolisadores em locais com excelentes condições de recursos renováveis pode se tornar uma opção de fornecimento de hidrogênio de baixo custo, mesmo depois de levar em consideração os custos de transmissão e distribuição do transporte de hidrogênio de locais renováveis (muitas vezes remotos) aos usuários finais (p. 49).

Apesar deste ser um cenário extremamente favorável para o Brasil, observa-se que a América Latina em geral se coloca como o lugar com menos projetos globais anunciados voltados para hidrogênio no mundo. Reflexos de uma dependência local que também ocorre em outros setores e influencia diretamente a forma de inserção internacional da região, este processo não está isolado da definida vinculação íntima entre a dependência histórico-estrutural, a colonialidade de poder e a hegemonia do pensamento europeu como perspectiva de conhecimento (QUIJANO, 1997 apud POLO BLANCO, 2018).



Fonte: GESEL, 2022b, p. 7

Para além de um setor elétrico renovável bem estruturado e em crescimento, o Brasil possui um extenso sistema elétrico interligado, contando com mais de 164 mil quilômetros de linhas de transmissão – algo extremamente positivo para a produção do hidrogênio. Ademais, o país se destaca por sua posição geográfica vantajosa, e por sua infraestrutura portuária e logística favorável para a inserção global do produto (MME, 2021). O território brasileiro conta, também, com um grande potencial para o mercado doméstico de hidrogênio verde, devido à grande presença de setores da indústria e transporte, que utilizam, respectivamente, 32,1% e 31,2% da energia nacional (EPE, 2021), além de possuir recursos energéticos diversificados (como gás natural, outro insumo possível para a produção de hidrogênio).

Como resposta a estas vantagens identificadas, o país reconheceu, no Plano Nacional de Energia 2050 lançado em 2020, o hidrogênio como “tecnologia disruptiva e como elemento de interesse no contexto da descarbonização da matriz energética” (MME, 2021, p.6). No ano seguinte, em abril de 2021, foi lançada a proposta de diretrizes para o Plano Nacional do Hidrogênio, elaborada pelo Ministério de Minas e Energia, em parceria com a Empresa para Pesquisa Energética (EPE), o FINEP e outros Ministérios. O documento tem como objetivo o alinhamento às ambições de descarbonização da economia, considerando que o hidrogênio irá contribuir para a neutralidade líquida de carbono até o ano de 2050 (MME, 2021).

Segundo a proposta de diretrizes ao Plano, “sem a viabilização técnica e econômica do hidrogênio de zero ou baixo carbono, será muito difícil para os países atingirem os compromissos e ambições nacionais do Acordo de Paris e de neutralidade líquida de emissões de carbono em 2050” (MME, 2021). Desta forma, o documento reconhece a importância do hidrogênio para a segurança energética dos países, destacando um forte movimento neste sentido na União Europeia (em particular, na Alemanha), no Japão e nos EUA.

Apesar da proposta de diretrizes e da elaboração do Plano estar em andamento, o estágio dos projetos no país ainda é inicial. Projetos-piloto podem ser encontrados em Hubs de hidrogênio, como nos portos de Pecém, Suape e Açú, e em universidades como Unicamp e UFRJ. Neste estágio, é possível verificar, assim, interesses e articulações por parte do mercado privado e da academia, que se refletem nas ações do governo em suas tentativas para o estabelecimento do mercado no país.

Políticas de descarbonização e as estratégias de hidrogênio verde: Cases globais

Como reação à crescente importância do hidrogênio, e tendo em vista a importância do hidrogênio verde e de baixo carbono, diversos países já lançaram estratégias, roadmaps e guias preliminares voltados exclusivamente para o hidrogênio. Dentre estes países, estão projetos

advindos do Chile, França, Estados Unidos, Alemanha, Colômbia, China, e a Comissão Europeia – variando entre estratégias já disponíveis ou em preparação, como ocorre atualmente no Brasil com as diretrizes do Programa Nacional de Hidrogênio mencionadas anteriormente.

Além de ações oriundas diretamente dos Estados, ocorre também uma grande movimentação do mercado privado, que tem pressionado os governos a acelerarem o desenvolvimento e aplicação de fomentos e políticas públicas em hidrogênio. Grandes empresas ao redor do mundo, como Shell, TotalEnergies e Siemens Energy, têm construído estratégias e projetos voltados para a produção e viabilização deste vetor energético. Estas empresas podem ser caracterizadas como atores do sistema internacional, cuja principal característica é a capacidade de influência e da governança que vão para além de seus Estados nacionais, “por disporem de recursos materiais e ideacionais capazes de sujeitar os demais atores” (OLSSON; SALLES; 2015).

Sendo a região com mais atividade em hidrogênio atualmente, a Europa se destaca no histórico de desenvolvimento de políticas climáticas. Lançada em 2021, a European Climate Law determina a meta intermediária de reduzir as emissões líquidas de gases de efeito estufa em pelo menos 55% até 2030, em comparação com os níveis de 1990, como um caminho em direção à neutralidade climática em 2050. O hidrogênio verde, portanto, é visto como uma oportunidade para o alcance das metas de redução de emissões até o final da década.

Dentre os países da União Europeia, a Alemanha se coloca como um dos que mais têm direcionado as discussões climáticas para o hidrogênio verde. Através da Estratégia Nacional do Hidrogênio, lançada em 2020, a Alemanha estabeleceu 38 medidas para iniciar o ramp-up do mercado até 2023, reconhecendo a importância da importação de energia renovável de fora do mercado interno europeu como uma necessidade de médio e longo prazo.

Segundo a estratégia, “o comércio internacional de hidrogênio e seus produtos a jusante é (...) um importante fator industrial e geopolítico” (BMW, 2020, p. 8). O país se comprometeu com € 7 bilhões (US\$ 8,1 bilhões) para o financiamento de projetos de hidrogênio em larga escala, além de € 2 bilhões (US\$ 2,3 bilhões) para promover parcerias internacionais (HUBER, 2021). O H2Global, programa de importação de hidrogênio fundado com €900 milhões (PINSENT MASON, 2022), tem como objetivo desenvolver plantas de produção em hidrogênio verde em países não-europeus.

Os Estados Unidos, por sua vez, não tiveram uma estratégia sólida e continuamente em desenvolvimento conforme na Europa. Tendo retornado ao Acordo de Paris em 2021, o país voltou a ter iniciativas graduais voltadas para a descarbonização de sua economia. Em resposta à larga utilização de hidrogênio advindo de energias fósseis, tal como ocorre na China, foi

desenvolvido o Advancing the Clean Hydrogen Future Act of 2021, lei que fornece financiamento para pesquisas, com objetivo de deixar os EUA à frente das inovações tecnológicas que irão reduzir o custo e melhorar a eficiência da produção de hidrogênio - com destaque para financiamentos no estado da Califórnia.

Já o Japão, em sua busca por autossuficiência energética, foi o primeiro país a elaborar uma estratégia nacional voltada para o hidrogênio. Altamente industrializado, o país possui gargalos em recursos em hidrogênio - vetor este identificado entre os 14 setores estratégicos do Green Growth Strategy Through Achieving Carbon Neutrality in 2050. Segundo Jane Nakano, “o desenvolvimento das cadeias de fornecimento de hidrogênio é uma agenda importante, e tanto o governo japonês quanto as empresas estão realizando vários projetos, incluindo o desenvolvimento do transporte marítimo” (NAKANO, 2021).

Apesar da existência de projetos em hidrogênio em todos os continentes, a maior parte destes ainda está concentrada no continente europeu - o que supera fatores geográficos que não são favoráveis para a produção de hidrogênio em larga escala no local. A Ásia e Austrália também têm se destacado no desenvolvimento de novos projetos, que têm aumentado em número, enquanto a América segue com menor expressão no tema (GESEL, 2022a).

Considerações finais

Apesar da pandemia do vírus Covid-19, que causou uma desaceleração geral da economia e desequilíbrios gerais nas cadeias de valor, as concentrações de gases do efeito estufa “atingiram novos máximos no ano de 2020, com frações molares médias globais de CO₂ excedendo 410 partes por milhão” (GESEL, 2022). O cenário atual ainda detém, assim, muitas incertezas quanto ao alcance das metas estipuladas pelo Acordo de Paris, o primeiro acordo global a conter obrigações políticas de desenvolvimento, implementação e fortalecimento de ações por parte de todos os países (DIMITROV, 2016).

Enquanto os países, principalmente da Europa, se preparam com tecnologias e estratégias para avançar na descarbonização de suas economias, a América Latina segue com menor expressão no desenvolvimento de projetos voltados para o hidrogênio verde ou de baixo carbono. Inserido em dinâmicas que refletem “a ação de variáveis exógenas, porquanto a região depende da exportação de matérias-primas e da importação de tecnologia” (FURTADO, 2019, p. 476), atores privados e públicos têm se articulado no Brasil para alavancar o setor de hidrogênio verde e acompanhar os movimentos advindos do sistema internacional, visto que enxergam no país grandes oportunidades para viabilizar a diminuição de suas emissões, conforme metas estabelecidas pelo regime climático internacional.

Não isolado das dinâmicas de poder do sistema internacional, questiona-se se o Brasil desenvolverá uma estratégia segura, autônoma e condizente com as condições do país para o hidrogênio verde, ou se seguirá aguardando que tendências e políticas sejam desenvolvidas no exterior para depois exportá-las para a construção de uma estratégia dependente e incerta.

Referências bibliográficas

- BALDUINO, Maria Clara de Jesus Maniçoba. O Acordo de Paris e a Mudança Paradigmática de Aplicação do Princípio da Responsabilidade Comum, Porém Diferenciada. Em: Revista Digital Constituição e Garantia de Direitos, vol.13, n.1.
- BATISTA Jr., Paulo Nogueira. O Brasil não cabe no quintal de ninguém: bastidores da vida de um economista brasileiro no FMI e nos BRICS e outros textos sobre nacionalismo e nosso complexo de vira-lata. São Paulo: LeYa, 2021.
- DIMITROV, Radoslav S. The Paris Agreement on Climate Change: Behind Closed Doors. *Global Environmental Politics* 16:3, August 2016, doi:10.1162/GLEP_a_00361, 2016.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2021. [s.l.: s.n., s.d.]. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>>. Acesso em: 14/05/2022.
- EUROPEAN COMMISSION. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. [s.l.]: European Commission, 2020. Disponível em: <<https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC208381/>>. Acesso em: 23 abr. 2022.
- Eurostat. Where does our energy come from? Disponível em <[https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy/bloc-2a.html#:~:text=In%202019%2C%20the%20energy%20mix,fossil%20fuels%20\(both%2013%20%25\).](https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy/bloc-2a.html#:~:text=In%202019%2C%20the%20energy%20mix,fossil%20fuels%20(both%2013%20%25).>)>. Acesso em 08/05/2022.
- REI, Fernando Cardozo Fernandes; GONÇALVES, Alcindo Fernandes; SOUZA, Luciano Pereira de. Acordo de Paris: Reflexões e Desafios para o Regime Internacional de Mudanças Climáticas. *Veredas do Direito – Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável*, v. 14, n. 29, p. 81–99, 2017.
- FURTADO, Celso. A economia latino-americana. Companhia das Letras: São Paulo, 2019.
- GESEL (Org.). Observatório de Hidrogênio. Rio de Janeiro: UFRJ, 2022a. Disponível em: <<https://gesel.ie.ufrj.br/wp-content/uploads/2022/03/observatorio-H2-05.pdf>>.
- GESEL (Org.). Observatório de Hidrogênio. Rio de Janeiro: UFRJ, 2022b. Disponível em: <<https://gesel.ie.ufrj.br/wp-content/uploads/2022/05/observatorio-H2-06.pdf>>.
- GUERRERO, Ana Lía. Geopolitics of Global Energy Transformation and Territorial Dynamics of Energy Transition in South America. *Ambiente & Sociedade*, v. 24, p. e00263, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200026r3vu2021L4DE>.
- HYDROGEN COUNCIL. The Future of Hydrogen: Seizing today's opportunities. Junho 2019.
- HUBER, Isabelle. Germany's Hydrogen Industrial Strategy. Center for Strategic and International Studies, 28 de outubro de 2021. Disponível em <<https://www.csis.org/analysis/germanys-hydrogen-industrial-strategy>>. Acesso em 15/05/2022.

- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). The Future of Hydrogen: Seizing today's opportunities. Paris: IEA, 2019. Disponível em: <<https://www.oecd-ilibrary.org/content/publication/1e0514c4-en>>. Acesso em: 4 abr. 2022.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). A new world: the geopolitics of the energy transformation. [s.l.]: International Renewable Energy Agency, 2019. Disponível em: <<https://apo.org.au/node/220211>>. Acesso em: 3 ago. 2023.
- KAZIMIERSKI, M. A. (2021). Hidrógeno verde en Argentina ¿un nuevo orden extractivo? Revista Huellas, Volumen 25, Nº 2, Instituto de Geografía, EdUNLPam: Santa Rosa. Disponível em: <http://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/huellas>. Acesso em 09/04/2022.
- KHALAF, Péricles Inácio. Obtenção de hidrogênio, carbono nanoestruturado e gás de síntese por plasma térmico de argônio a partir da degradação de metano, biogás e água. UFSC: Florianópolis, 2009.
- KRASNER, Stephen D. Causas estruturais e consequências dos regimes internacionais: regimes como variáveis intervenientes. Revista de Sociologia e Política, v. 20, p. 93–110, 2012.
- LEITE, Alexandre César Cunha; ALVES, Elia Elisa Cia; PICCHI, Livia. A cooperação multilateral climática e a promoção da agenda da transição energética no Brasil. Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 54, 2020. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/made/article/view/70349>>. Acesso em: 9 abr. 2022.
- LINHAS de transmissão de energia conectam mais de 98% da população brasileira. G1, 17 de setembro de 2021. <<https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2021/09/17/linhas-de-transmissao-de-energia-conectam-mais-d-e-98percent-da-populacao-brasileira.ghtml>>. Acesso em 14/05/2022.
- GURLIT, WIELAND; GUILLAUMON, JOÃO; AUDE, MARCELO; et al. Hidrogênio verde: uma oportunidade de geração de riqueza com sustentabilidade, para o Brasil e o mundo. [s.l.: s.n.], 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 16 de abril de 2022.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Programa Nacional do Hidrogênio: Proposta de Diretrizes. Abril, 2021.
- MORTIMER, ROGER, Roger. geopolitical uncertainty is a game-changer for energy transition. Disponível em: <<https://kraneshares.com/the-russian-invasion-of-ukraine-is-a-game-changer-for-energy-transition/>>.
- NAKANO, Jane. Japan's Hydrogen Industrial Strategy. 2021. Disponível em: <<https://www.csis.org/analysis/japans-hydrogen-industrial-strategy>>. Acesso em: 3 ago. 2023.
- PINSENT MASONS. European Commission approves German hydrogen import programme H2Global. 21 de janeiro de 2022. Disponível em <<https://www.pinsentmasons.com/out-law/news/wasserstoff-eu-kommission-bewilligt-h2global#:~:text=The%20European%20Commission%20has%20granted.in%20sunny%20non-EU%20countries.>>. Acesso em 15/05/2022.
- PPOLO BLANCO, Jorge. Colonialidad múltiple en América Latina: Estructuras de dependencia, relatos de subalternidad. Latin American Research Review, v. 53, n. 1, p. 111–125, 2022. DOI: <https://doi.org/10.25222/larr.243>.
- POTTMAIER, D., et. al. The Brazilian Energy Matrix: From a materials science and engineering perspective. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 19, p. 678–691, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032112006776>. Acesso em 09/04/2022.

- REPowerEU: Ação Europeia Conjunta para uma energia mais acessível, segura e sustentável. Disponível em <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022DC0108&from=EN>>. Acesso em 08/05/2022.
- RIBEIRO, Gustavo Lins. Poder, redes e ideologias no campo do desenvolvimento. Novos estudos. CEBRAP, 2008, n. 80.
- ROGELJ, Joeri; DEN ELZEN, Michel; HÖHNE, Niklas; et al. Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C. Nature, v. 534, n. 7609, p. 631–639, 2016.
- Theme Report on Energy Transition: Toward the Achievement of SDG 7 and Net-Zero Emissions. New York: [s.n.], 2021. Disponível em: <https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/2021-twg_2-062321.pdf>.
- OLSSON, Giovanni; SALLES, Eduardo Baldissera Carvalho. A reconfiguração do poder e a governança global com e sem governo: Um olhar sobre novos atores. Revista de Teorias e Filosofias do Estado, 2015–12–06, Vol.1 (1), p.18.
- SACHS, Ignacy. Desenvolvimento incluyente, Sustentável e Sustentado. Rio de Janeiro: Garamond, 2008.
- SANTOS, Felipe Matias. Transição Energética: Enquadramento e Desafios. UFRG: Revista Videre, Dourados, MS, v.11, n.22, jul./dez. 2019. Disponível em <<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/videre/article/view/11217/5774>>. Acesso em 08/05/2022.
- SOUZA, Maria Cristina Oliveira; CORAZZA, Rosana Icassatti. Do Protocolo Kyoto ao Acordo de Paris: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases de efeito estufa. Desenvolvimento e Meio Ambiente, v.42, p.52–80, 2017.
- WHAT is the Paris Climate Agreement? UNFCCC. Disponível em <<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement#:~:text=The%20Paris%20Agreement%20is%20a.compared%20to%20pre-industrial%20levels>>. Acesso em 16 de abril de 2022.
- ONU (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS). Adoção do acordo de Paris. In: [s.l.]: UNFCC, 2015. Disponível em: <<https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-08/Acordo-de-Paris.pdf>>. Acesso em: 8 maio 2022.
- VALENCIA-BOTERO, Mónica J.; CARDONA-ALZATE, Carlos A. Análisis del ciclo de vida para la producción de hidrógeno como combustible del futuro. Revista Cubana de Química, v. XXV, n. 2, p. 165–179, 2013.
- VEIGA, J. E. Para Entender o Desenvolvimento Sustentável. Editora 34: São Paulo, Brasil, 2015.