



A Indústria Nascente do Hidrogênio Verde no Brasil¹

Nivalde de Castro²

Roberto Brandão³

Thereza Aquino⁴

Em momentos históricos de rupturas econômica, novas necessidades e possibilidades de atividades produtivas emergem de forma radical e abrupta, dificultando a visão dos cenários futuros, dado que o passado não é uma referência segura para formular projeções.

Com base neste pressuposto, assinala-se que o mundo está passando por um momento disruptivo em função do aquecimento global, que está, a cada dia, expondo extremos de temperaturas com consequências adversas, como crises hídricas, um exemplo bem nacional.

O enfrentamento deste desafio global criou o conceito e estratégia de transição energética, o qual pode ser definido como a evolução de uma matriz energética com predomínio de recursos fósseis (carvão, petróleo e gás), origem nata das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e causa central da elevação das temperaturas, para uma matriz de recursos renováveis.

As estratégias em prol da transição energética centram-se nos três D's: descarbonização, descentralização e digitalização, e estão sendo firmadas em acordos internacionais, os quais orientam políticas públicas, programas catalizadores de investimento e ações regulatórias. Estas ações são lideradas pelos países desenvolvidos, historicamente, a partir da I Revolução Industrial, o *locus* poluidor central.

Do ponto de vista específico da transição, a questão central e crucial é que os recursos renováveis irão garantir o processo de descarbonização e, conseqüentemente, permitir que, em 2050, seja alcançada a neutralização projetada das emissões de GEE. Para

¹ Artigo publicado No Broadcast da Agência Estado de São Paulo em 16 de dezembro de 2021.

² Professor do Instituto de Economia da UFRJ e coordenador do GESEL- Grupo de Estudos do Setor Elétrico

³ Pesquisador Sênior do GESEL-UFRJ

⁴ Professora da Escola de Engenharia da UFRJ, pesquisadora associada do GESEL, tendo sido superintendente de infraestrutura do BNDES

tanto, os cenários projetados pelas principais instituições de pesquisa, como, por exemplo, a IEA e a IRENA, indicam a expansão da capacidade produtiva das energias eólica e solar, bem como, e com destaque, para a produção do hidrogênio verde (H2V) a partir destas fontes.

Neste sentido, pode-se assumir que, diante desta perspectiva, o hidrogênio verde será a futura *commodity* mundial energética, substituindo o barril de petróleo pelo “barril” de H2V, como referência global do custo de energia.

A partir deste enquadramento analítico, o tema central deste pequeno e objetivo artigo é a indústria nascente do H2V, com foco no Brasil. E este foco no Brasil se justifica por conta de deter vantagens competitivas ímpares para o desenvolvimento da indústria de H2V, em razão, basicamente, de sete fatores, expostos a seguir.

O primeiro fator é o potencial de fontes renováveis eólica e solar, superior a 1.300 GW segundo estudos da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Em termos comparativos, de acordo com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), a capacidade instalada total do Brasil, hoje, é de 172 GW, sendo 20 GW de energia eólica e 4,5 GW de energia solar.

Com base nestes parâmetros, considerando, também, que a dimensão da rede de transmissão de alta tensão é de 145 mil km. Estas dimensões evidenciam condições excepcionais em termos de custos da energia elétrica garantindo produção do H2V competitiva em comparação ao resto mundo, dado que a energia elétrica representa cerca de 70% do custo de produção do H2V na tecnologia da eletrólise, a rota mais consistente.

O segundo fator é a confiabilidade do modelo regulatório e econômico nacional de contratação de novas plantas produtoras de energia elétrica. Os leilões para novos investimentos no mercado cativo sempre foram muito competitivos, normalmente com mais oferta do que demanda, resultando em deságios elevados. Em paralelo, com o aumento do mercado livre, os contratos bilaterais já se firmaram como uma forma consistente e segura de contratação de energia elétrica, o que garante a oferta de energia renovável a custos competitivos para a produção de H2V. Em suma, abre-se uma nova fronteira de investimentos em geração e transmissão sem parâmetros em relação ao passado, constituindo uma indústria nascente e eletrointensa.

O terceiro fator é a atuação de grandes *players* no mercado elétrico brasileiro. São grupos econômicos mundiais (Engie, EDP, Enel, State Grid e Iberdrola) e nacionais (Energisa, Equatorial, Cemig, Copel e Celesc), todos com visão estratégica e capacidades empresarial e financeira para investir na criação da cadeia de valor da indústria do H2V, que será uma grande consumidora de energia elétrica, qualificada no segmento eletro intensivo. Mas também abrindo possibilidades de novos negócios.

O quarto fator refere-se a condições favoráveis para o consumo de H2V em escala crescente, tendo em vista o potencial de demanda de setores importantes da indústria

nacional, seja para converter suas matrizes que consomem recursos energéticos não renováveis, seja, principalmente, para produzir insumos e bens que precisam ser verdes para enfrentar a competição e superar as barreiras que estão sendo criadas no mercado internacional para produtos não sustentáveis, como é o caso dos setores siderúrgico, químico, cimenteiro, dentre outros.

O quinto fator é um componente competitivo muito favorável ao Brasil. Trata-se da disponibilidade de portos oceânicos, alguns, inclusive, associados a complexos industriais de setores citados acima. Neste sentido, merecem destaque os complexos industriais de Camaçari e do Porto de Pecém, este já incorporado em um programa ambicioso do Governo do Ceará. Mesmo outros portos, como de Açu e Macaé, que ainda não possuem complexos industriais, podem, e devem, se qualificar como *hubs* de produção de H2V para exportação.

O sexto refere-se a possibilidade de através de uma política industrial específica o Brasil criar um polo industrial para produção de equipamentos para a produção, o armazenamento e o transporte de H2V. Em função das perspectivas positivas e competitivas, grupos como a Siemens Energy terão interesse nesta estratégia focada também no mercado Latino Americano. Pode-se tomar como analogia, guardadas as devidas diferenças de gênero e grau, a vinda da indústria automobilística ao país nos anos de 1950, no âmbito do Plano de Metas do sempre admirado e admirável Presidente Juscelino Kubitschek.

E por último, o sétimo fator diz respeito vinculado à capacidade de financiamento que a economia brasileira detém para apoiar o desenvolvimento de uma indústria nascente como a do H2V. Neste contexto, por exemplo o BNDES já estuda o potencial desta indústria buscando alinhamento com suas tradicionais linhas de empréstimos que certamente poderão ser ajustadas. No mercado privado as debentures incentivadas poderão ser utilizadas, seguindo a experiência de sucesso dos projetos de geração e transmissão de energia elétrica.

Por fim, a título de uma conclusão mais ampla, fica evidente que o somatório destes seis fatores transcende, em muito, as decisões e ações exclusivamente do Setor Elétrico Brasileiro. Na cadeia de valor do H2V, a interface com o setor elétrico fica restrita à oferta de energia renovável, com base no seu sólido e consistente arcabouço regulatório. Contudo, a cadeia de valor a partir das plantas produtoras de H2V é mais afeta às políticas industriais, sob a responsabilidade do Ministério da Economia.

Não há, por sua vez, condições e clima para se avançar na discussão de uma política industrial, em função da crise econômica que o Brasil enfrenta, expressa, entre outras, pelas negativas taxas de inflação, desemprego e PIB. Ademais, 2022 por ser um ano eleitoral é outro elemento desfavorável.

Deste modo, cabem aos agentes econômicos liderar este processo de criação da indústria nascente do H2V, com apoio das instituições de estado para avançar e desenvolver estudos que servirão de subsídio e base para o desenvolvimento de

política industrial a partir de 2023. Nesta direção, uma estratégia para 2022 pode ser, com apoio e participação das instituições de estado (IPEA, BNDES, BNB, FINEP, Universidades e centros de pesquisa) e de associações das classes mais envolvidas com o tema, contribuir para o debate qualificado que normalmente se faz presente nas eleições presidenciais formular propostas para serem examinadas por todos os candidatos, independentemente de qualquer posicionamento político partidário, tendo em vista, acima de tudo, os benefícios nacionais que a indústria nascente de H2V trará para o Brasil.



The emerging green hydrogen industry in Brazil¹

Nivalde de Castro²

Roberto Brandão³

Thereza Aquino⁴

New demands and possibilities for productive activities arise abruptly and radically in historical moments of economic disruption. This fact makes it difficult to see future scenarios, since the past is not a safe reference for formulating projections.

Based on this presupposition, it is stated that the world is going through a disruptive moment due to global warming. This fact can be well exemplified by the daily increase in extreme temperatures in Brazil, with adverse consequences such as the water crisis.

The fight against this global challenge created the concept and strategy of Energy Transition. This can be defined as the evolution of an energy matrix with predominance of fossil resources (coal, oil and natural gas) - origin of greenhouse gases (GHG) and the main cause of global warming - towards a matrix of renewable sources.

The strategies in favor of Energy Transition are centered on the three D's: decarbonation, decentralization and digitalization. Therefore, international agreements are being signed to guide public policies, investment catalyst programs and regulatory actions. Such measures have been taken by countries that, historically, developed during the First Industrial Revolution, main polluting loci.

From the specific point of view of the transition, the main and crucial question is that the renewable sources will assure the decarbonation process, and consequently guarantee that net zero emissions are reached by 2050. Therefore, the designed scenarios by the main research institutions such as IEA and IRENA indicate the

¹ Article published in the Broadcast Energy of the State of São Paulo Agency, on December, 2021

² Professor at the Institute of Economics at UFRJ and coordinator of the GESEL - Electric Sector Studies Group

³ Senior Researcher at GESEL-UFRJ

⁴ Professor at the UFRJ School of Engineering, associate researcher at GESEL, having been infrastructure superintendent at BNDES

expansion of the productive capacity of solar and wind power as well as of the important production of green hydrogen generated by those sources.

In this sense, it's presumed that, in front of this perspective, green hydrogen will be the next energetic world commodity by replacing oil barrels as the global reference of energy costs.

From this analytic frame, the main theme of this short and straightforward article is the emerging industry of green hydrogen with a focus on Brazil. This is justified by the country's unique competitive advantages for the development of the green hydrogen industry due to basically seven factors, exposed hereafter.

The first one is the wind and solar renewable sources power, superior to 1,300 GW according to studies made by the Energetic Research Company. In comparative terms, according to the Electric System National Operator, Brazil's total installed capacity is 172 GW, as compared to the 20 GW from wind power and 4.5 from solar power.

Based on these parameters, as well considering the high dimension of the 145,000 kilometers high tension transmission net. These dimensions point to exceptional conditions in terms of electricity costs, reassuring green hydrogen competitive production in comparison to the rest of the world, given that electric power represents around 70% of green hydrogen production costs in the electrolysis technology, the most efficient one.

The second factor is the reliability of the regulatory and economic national model of new electricity production sites contracting. The auctions for new investments on the captive market were always very competitive, normally with more offers than demands, resulting in huge discounts. In parallel, with the growth of the free market, the bilateral contracts are signed as a consistent and safe way to contract electricity, which guarantees the competitive price of the renewable energy offer. In brief, a new parameter free frontier of generation and transmission, constituting an emerging and electrical intense industry.

The third factor is the performance of big players in the Brazilian Electricity Market. They are global economic groups (Engie, EDP, Enel, State Grid, and Iberdrola) and national ones (Energisa, Equatorial, Cemig, Copel, and Celesc), with strategic view and financial and business capacities to invest on the creation of the value chain of green hydrogen industry, which will be one of the greatest consumers of electrical power, therefore qualified in the electrical intense segment. But also opening possibilities of new business opportunities.

The fourth factor refers to favorable conditions for the green hydrogen consumption in a growing scale, seem the potential demand from national industry's important sectors, whether it's for converting their matrices that consume nonrenewable energetic resources, or mainly to produce inputs and goods that need to become green to face competition and overcome the barriers that are being created in the

international market for non-sustainable products, as is the case for the iron, chemical, cement market, among others.

The fifth factor is a competitive component very favorable to Brazil. It's the availability of oceanic ports, which some are associated with industrial complexes from sectors mentioned above. In this manner, are worthy of mention the industrial complexes of Camaçari and Port of Pecém, as the last one is already incorporated in an ambitious program from Ceará's government. Even other ports that still don't have industrial complexes, such as Açú and Macaé, can and must qualify as green hydrogen production centers for exportation.

The sixth factor refers to the possibility of creating an industrial pole to manufacture gear for green hydrogen production, storage and transportation throughout specific industrial policies. Due to the positive and competitive perspectives, groups like Siemens Energy will have interest in this strategy focused also in the Latin American Market. It may be taken as an analogy, ignoring the gender and degree differences, the arrival of automobile industry in Brazil in the decade of 1950, within the scope of the Goals Plan from the forever admired and admirable President Juscelino Kubitschek.

And lastly, the seventh factor is related to the funding capacity that the Brazilian economy has to support the development of an emerging industry such as the green hydrogen. In this context, for example, the National Bank for Development is already performing studies about this industry, seeking alignment with their traditional loan lines that certainly will be able to be adjusted. In the private market the incentivized debentures will be able to be used following the success experience of electrical power generation and transmission projects.

Ultimately, by the way of a wider conclusion, it is evident that the sum of these seven factors really transcends the exclusive actions and decisions of the Brazilian Electrical Sector. In the green hydrogen value chain, the interface with the electrical sector is restricted to the renewable energy offering based on its solid and consistent regulatory framework. However, the value chain beginning from the green hydrogen production sites is more affected by the industrial policies, under the responsibility of the Economy Ministry.

There aren't, on the other hand, the needed conditions and climate to advance in the discussion of an industrial policy in function of the economic crisis that Brazil is facing due to the negative inflation fees, unemployment and Gross Domestic Product (GDP). Besides, 2022 being an electoral year is another unfavorable element.

In this manner, it's up to the economic agents to guide this process of the creation of the green hydrogen emerging industry with support from the state institutions to advance and to develop studies that will subsidize and base the development of industrial policies from 2023. In this direction a strategy for 2022 supported by state institutions (IPEA, BNDES, BNB, FINEP, Universities and Research Centers) can

contribute to the qualified debate that normally is present in presidential elections in the proposals formulated to be examined by all candidates, independent of the partisan political positioning, in view of the national benefits that the emerging green hydrogen industry will bring to Brazil, above everything.

Contextos e Estratégias do Programa Nacional de Hidrogênio do Brasil¹

Nivalde de Castro²

Vitor Santos³

Na transição energética, em acelerado curso desde fins do Século XX, a descarbonização é o motor dinâmico deste processo, buscando simultaneamente reduzir as emissões de CO₂ através do uso crescente de recursos energéticos renováveis e garantir maior segurança no atendimento da demanda crescente de energia de cada país.

Desta forma, o carvão e o petróleo tendem, gradativamente, a ter a sua participação percentual reduzida na matriz energética mundial em favor de fontes renováveis: energia eólica, solar e biocombustíveis.

O desafio, contudo, é que a grande maioria dos países, com destaque por exemplo para a União Europeia, não detém um potencial de recursos renováveis suficiente para atingir as metas, cada mais agressivas, de descarbonização e, muito menos, para atender a demanda interna de energia.

A solução desta restrição está no hidrogênio verde (H₂V), produzido a partir da geração de energia elétrica verde, ou seja, por fontes renováveis. Além disso, por se tratar de um recurso energético de multiuso, igualmente ao petróleo, o H₂V atenderá diversas demandas, como as indústrias química, petroquímica, de ferro e de aço, os setores de transportes rodoviários pesados e marítimos, aviação, etc.

A União Europeia, por exemplo, é ultra dependente da importação de petróleo e gás natural de outros poucos e complicados países, o que coloca em risco a sua segurança energética. Ao estruturar programas e planos da transição energética com foco no H₂V, a oferta deste novo recurso virá de países que podem produzir energia elétrica de fontes renováveis. Assim, a estratégia do bloco europeu está

¹ Publicado no Broadcast da Agência Estado de São Paulo, originalmente com o título: Programa nacional de H₂ no Brasil . Disponível em <https://energia.aebroadcast.com.br/tabs/news/746/37697233> . Acesso em 13 de maio de 2021

² Professor do Instituto de Economia da UFRJ e coordenador do GESEL – Grupo de Estudos do Setor Elétrico

³ Professor do Instituto Superior de Economia e Gestão da Universidade de Lisboa. Ex- Secretário de Estado e Ex-diretor geral da ERSE – Entidade Reguladora do Setor De Energia de Portugal.

bem definida na direção de interagir com um conjunto muito maior de países que possa produzir e exportar o H2V para atender a demanda europeia.

Neste contexto, a Alemanha prevê uma demanda interna de hidrogênio entre 90 e 110 TWh, em 2030. Estima instalar 5 GW de capacidade para produzir 14 TWh de hidrogênio verde, em 2030. Esta quantidade, porém, atenderá somente 15% da demanda total, estando previstas a importação de 85%. Desta forma, a Alemanha se posicionará como um grande importador mundial e, segundo o seu plano de H2V, deseja atuar com uma visão holística centrada em parcerias globais, de modo a assumir a liderança da cadeia de valor global do hidrogênio verde.

Para o Brasil, este novo cenário energético é uma grande oportunidade de se posicionar na constituição do novo mercado mundial da *commodity* H2V, o que se deve basicamente, a quatro fatores. O primeiro é o imenso potencial de recursos energéticos renováveis (vento, sol e etanol) que o Brasil detém. Neste sentido, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) estima, *grossa modo*, mais de 1 milhão de MW de energia solar e eólica *on* e *offshore*.

O segundo fator é o consolidado modelo para ampliação da capacidade de geração de energia elétrica e do sistema de transmissão, assentado em estudos de planejamento, em uma regulação transparente e consistente, em leilões competitivos e em contratos de longo prazo com receitas seguras e previsíveis. Observa-se que este modelo pode ser adaptado rapidamente para contratar mais plantas renováveis, dedicadas à produção de H2V.

O terceiro é a logística para produção de H2V com foco na exportação, segmento no qual a demanda será maior e mais previsível. Neste caso, trata-se de grandes portos de exportação que o Brasil já possui, com destaque para os Portos de Pecém, no Ceará, e do Açu, no Rio de Janeiro.

Por último, mas não menos importante, o Brasil apresenta condições econômicas de rapidamente criar uma cadeia produtiva de H2, nos moldes de “indústria de autopeças”. Esta particularidade deve-se ao fato de que o núcleo duro da tecnologia das plantas que produzirão hidrogênio, em uma primeira etapa, será importado, especialmente da Alemanha, e, gradativamente, haverá um processo de redução do grau de importação, firmando uma cadeia produtiva nacional.

Pode-se fazer uma analogia com o Plano de Metas de Juscelino Kubistchek, que viabilizou a instalação dos grandes grupos da indústria automobilística no país, como foi o caso da Volkswagen. A medida que a produção automobilística foi aumentando, constituiu-se uma complexa e capilar indústria de autopeças, que permitiu alçar o Brasil para o grupo de países que mais produzem e consomem automóveis no mundo.

Neste sentido, o BNDES tende a assumir um papel determinante, como o fez para o nascimento da indústria automobilística, seja customizando suas linhas tradicionais de financiamento, seja através da captação de financiamento em moeda estrangeira, sem risco cambial, pois a maior demanda de hidrogênio será para exportação.

Destaca-se que, em sintonia e aderente com a transição energética mundial, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) promulgou, recentemente, uma resolução para a elaboração do Programa Nacional de Hidrogênio (PNH2), sob a coordenação da EPE. Deste modo, entende-se que o elemento central a ser priorizado pelo PNH2 é a criação de condições para que o Brasil seja um grande produtor e exportador de H2V, de forma a ganhar posição no mercado mundial, atraindo investidores internacionais, como tão bem fez Kubistchek, nos anos de 1950.

Ao priorizar a construção de uma cadeia produtiva com base nas vantagens competitivas que o Brasil já detém, examinadas anteriormente, duas outras questões importantes terão que ser contempladas no PNH2. A primeira são as possibilidades e o potencial de consumo do H2V em setores produtivos nacionais, enquanto que a segunda é a determinação de estratégias visando o desenvolvimento tecnológico nacional e a formação de mão de obra qualificada, principalmente através de acordos internacionais de cooperação científica e tecnológica. Neste ponto, o próprio CNPE já sinalizou que o hidrogênio deve receber prioridade por parte dos programas de P&D da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), bem como de outros instrumentos e programas de incentivos à inovação.

Desta forma, o PNH2 poderá colaborar e exercer papel relevante na definição de parâmetros de expansão sustentável, para que o H2V, no Brasil, possa orientar as decisões de investimentos privados - nacionais e internacionais - de capital intensivo e de longo prazo de amortização, contribuindo para o processo de transição energético mundial.

Hidrogênio Verde como fator de expansão da fronteira do SEB

Nivalde de Castro
Nelson Siffert

O mundo está, atualmente, vivenciando um processo de transformação do paradigma energético, derivado do agravamento das condições climáticas, que impõe a necessidade de descarbonização das atividades econômicas emissoras de gases de efeito estufa. Este contexto exige o desenvolvimento de inovações tecnológicas de baixo carbono, abrindo um imenso campo de oportunidades para novos produtos e novos negócios, o que, conseqüentemente, exigem novos investimentos.

O Relatório da International Renewable Energy Agency (Irena, 2021) identifica cinco pilares tecnológicos para a transformação do futuro energético até 2050, sendo eles:

- A eletrificação de atividades econômicas poluidoras;
- O estímulo ao desenvolvimento do hidrogênio verde, produzido por eletricidade renovável a partir de eletrólise;
- A inovação em setores desafiadores para a descarbonização, como aviação, transporte marítimo e indústria pesada;
- O crescimento da difusão de fontes renováveis convencionais; e
- O aumento da flexibilidade do sistema de energia, diante do crescimento da participação de fontes renováveis intermitentes.

Estas transformações radicais no setor energético apontam para um processo de descarbonização, impulsionado pela eletrificação dos usos finais. A descarbonização, contudo, leva ao aumento da demanda de energia elétrica, o qual deverá ser atendido, necessariamente, por fontes renováveis.

Para viabilizar este novo paradigma energético, que tem como objetivo máximo a descarbonização da economia global, é necessária, no curto prazo, a formulação estratégica de políticas públicas em nível sem precedentes, com a mobilização massiva de recursos públicos e privados.

Diante deste contexto, nas próximas décadas, o Setor Elétrico Brasileiro estará diante de novas oportunidades, em função da agenda de mudanças climáticas, da descarbonização da economia mundial e, ainda, da crescente eletrificação das atividades produtivas, da mobilidade e do padrão de consumo.

Ao longo dos últimos anos, as evoluções tecnológicas em curso no setor elétrico se expressaram na rápida difusão das energias solar e eólica, o que está se traduzindo, em última análise, na redução de custos de geração em função dos ganhos de escala. Em ambos os segmentos, o Brasil, país de dimensão continental, apresenta expressivas vantagens comparativas, a exemplo de o fator médio de geração de energia eólica em alguns *clusters* na Região Nordeste alcançar indicadores cerca de 50% acima da média mundial. No caso da energia solar, igualmente, amplas regiões do Brasil possuem níveis de insolação bastante superiores àqueles encontrados nas maiores economias desenvolvidas.

Além da difusão das fontes renováveis, inovações tecnológicas no setor elétrico se aceleram a um ritmo cada vez maior, que vem atravessando transformações de natureza disruptiva. Entre

outras, uma delas apresenta um potencial competitivo para o Brasil. Trata-se do aproveitamento do hidrogênio configurando uma das tecnologias mais promissoras. Após um período de experimentação e superação de barreiras próprias de uma nova tecnologia em desenvolvimento, espera-se que haja o aumento de ganhos de escala e a redução de custos associados com a produção e aproveitamento do hidrogênio.

Com relação a esta tecnologia, vale ressaltar três fatores centrais:

- O emprego de recursos renováveis para a produção do hidrogênio verde, que terá mais valor agregado em função das metas de descarbonização;
- Para ser considerado verde, a produção de hidrogênio não deve causar efeitos negativos na matriz elétrica dos países produtores em termos de utilização de energias renováveis; e
- Investimentos consideráveis na infraestrutura de geração de energia renovável, além daqueles direcionados a *utilities* de produção, transporte e armazenamento de hidrogênio, se farão necessários.

Neste contexto, o hidrogênio verde apresenta o potencial de oferecer uma solução para a descarbonização de setores de difícil eletrificação. Porém, conforme mencionado, as fontes de energia a serem empregadas na produção do hidrogênio – insumo eletrointensivo – devem ser renováveis, de modo a torná-lo um combustível verde.

Destaca-se, ainda, que a difusão do hidrogênio como fonte de energia elétrica renovável abre a perspectiva de que este, em sua forma líquida, se torne uma *commodity* passível de ser transacionada no mercado internacional, sobretudo o europeu, onde o desequilíbrio entre oferta e demanda de energia é um elemento de insegurança energética. Neste sentido, a flexibilidade desta nova *commodity* mundial em termos de estocagem e transporte, ainda que questões de segurança demandem aperfeiçoamentos, traz oportunidades para que o Brasil seja um *player* relevante no mercado internacional.

Para o Setor Elétrico Brasileiro (SEB), os efeitos decorrentes desta expectativa de o hidrogênio se tornar *tradable* internacionalmente fazem com que a sua demanda não mais seja determinada exclusivamente pelo mercado interno. Ocorre, assim, um deslocamento do teto de crescimento da capacidade instalada de fontes renováveis e de linhas de transmissão direcionadas para a produção desta nova *commodity*. Ou seja, as possibilidades e potencial de produção do hidrogênio verde para o mercado internacional atuará como uma fronteira de expansão do SEB.

Nivalde de Castro é professor do Instituto de Economia da UFRJ e coordenador do Grupo de Estudos do Setor Elétrico (Gesel) da UFRJ. Nelson Siffert é pesquisador associado do Gesel da UFRJ.

Lições de Portugal na Estratégia de Hidrogênio¹

Nivalde de Castro²

Vitor Santos³

Thereza Aquino⁴

No campo da transição energética, Portugal tem sido uma espécie de laboratório para o Setor Elétrico Brasileiro (SEB) por enfrentar desafios e tomar decisões de política e planejamento energético, oferecendo exemplos, ideias e orientações que, guardadas as devidas e óbvias proporções em diferentes níveis e graus, se mostram importantes para o Brasil. Como exemplo desta anterioridade, pode-se citar a difusão das fontes renováveis (eólica e solar), a geração distribuída, as redes inteligentes e a mobilidade elétrica, destacando o fato emblemático de Portugal ter, desde 2008, uma rede de eletropostos que permite a viagem de Oiapoque ao Chuí português, ou seja, de Faro à Viana do Castelo.

Neste sentido, o objetivo deste artigo é examinar as linhas gerais da política energética de Portugal em relação ao hidrogênio (H₂), com destaque para um projeto estratégico no Porto de Sines, buscando elementos que possam subsidiar o desenvolvimento da indústria de H₂ de baixo carbono no Brasil.

Em 2020, o governo de Portugal publicou a Estratégia Nacional para o Hidrogênio, definindo dois *drivers* essenciais.

O primeiro refere-se à vantagem competitiva do custo de H₂ que o país detém em comparação à geração de energia elétrica renovável, nomeadamente a eólica e a solar. Esta posição é determinada pelo fato de cerca de 70% do custo de produção do H₂ ser derivado da energia elétrica.

¹ Artigo publicado no Broadcast Energia da Agência Estado de São Paulo. Disponível em: <https://energia.aebroadcast.com.br/tabs/news/746/40260776>. Acesso em 28 de janeiro de 2022.

² Professor do Instituto de Economia da UFRJ e coordenador do GESEL- Grupo de Estudos do Setor Elétrico.

³ Professor da Universidade de Lisboa e ex diretor geral da ERSE- Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

⁴ Professora da escola de Engenharia da UFRJ e pesquisadora do GESEL.

Desta forma, torna-se exequível a estratégia portuguesa de exportação de H₂ para países europeus. Esta possibilidade é maior em particular para a Alemanha, que estima importar mais de 85% da sua demanda interna de hidrogênio de baixo teor de carbono em 2050.

O segundo *driver* é direcionado para a conversão das matrizes energéticas do mercado industrial, em função das imposições ambientais de substituição progressiva dos fornecimentos atuais para o consumo industrial de hidrogênio de base fóssil por hidrogênio de baixo carbono. Assim, será possível o desenvolvimento de novos produtos “verdes” que, quando devidamente certificados, permitirão à criação de um *cluster* verde, de modo a firmar atividades geradoras de elevado valor agregado. Desta forma, uma das dimensões estratégicas passa por um processo de reestruturação industrial, dinamizado pela emergência e predominância do hidrogênio de baixo carbono.

Em consonância com esta visão estratégica, Portugal está estruturando um projeto inovador focado no Polo Industrial de Petroquímica de Sines, criado nos anos 1970. Este projeto estratégico recebeu a designação de GreenH2Atlantic e está sendo desenvolvido por um consórcio constituído por seis grupos empresariais europeus investidores, destacando a participação da EDP, da Engie e da Galp, e seis centros de P&D.

O GreenH2Atlantic será desenvolvido no entorno de um Porto de águas profundas, equipado com vários terminais especializados para movimentar diferentes tipos de mercadorias, incluindo um terminal de gás natural que tem uma grande vantagem que é a conexão com as redes de gasodutos nacionais e europeias.

A iniciativa foi um dos três projetos selecionados pelo programa *Horizon 2020 – Green Deal* da Comissão Europeia, recebendo apoio de € 30 milhões para o financiamento do eletrolisador, de 100 MW, que será construído no terreno de uma usina termoelétrica a carvão de 1.200 MW que foi descomissionamento em janeiro de 2021, determinando a estratégia de conversão do Porto de Sines para criar um *hub* de hidrogênio em que se sublinham as seguintes frentes:

- i. Construção de um projeto piloto demonstrador de um eletrolisador com uma capacidade de 100 MW de H₂, para abastecimento dos *offtakers* industriais locais e para a sua distribuição nacional e exportação em *blending* com o gás natural, através da rede de gasodutos e o terminal de gás natural;
- ii. Investimento em uma solução híbrida de usinas eólicas e solares fotovoltaicas com uma capacidade instalada total de 200 MW (100 MW solar e 100 MW eólica), que irá funcionar em regime de autoprodução;

- iii. Construção de um projeto demonstrador de produção de amônia verde que consome duas toneladas/ano de hidrogênio verde (H2V) e produz 11 toneladas/ano de amônia verde, mas com uma escalabilidade de até 300 toneladas/ano;
- iv. Criação de um Laboratório Colaborativo de P&D; e
- v. Desenvolvimento de um *hub* para mobilidade a hidrogênio direcionada aos transportes rodoviários pesados.

A previsão é que o *hub* de H2 passe a operar em “velocidade cruzeiro” em 2025, expressando, assim, a determinação dos grupos empresariais e dos centros de P&D de Portugal em estar em consonância com o processo de transição energética da União Europeia.

Deste breve e objetivo exame da experiência atual de Portugal no campo do hidrogênio, pode-se destacar, como linhas gerais para o Brasil, os aspectos que se seguem.

Esta nova indústria eletrointensiva do H2V tem a sua competitividade determinada pela oferta a custos baixos de energia elétrica renovável. Trata-se, portanto, de um determinante positivo para o SEB frente ao potencial imenso de energia eólica e solar.

A estratégia de produção do H2 para a conversão das matrizes energéticas de setores industriais deve estar direcionada tanto para a troca do H2 cinza pelo verde, quanto para a substituição direta de recursos energéticos não renováveis pelo H2V. Observa-se que o somatório de volume de produção de H2V para estes dois tipos de demanda da economia brasileira irão permitir os ganhos de economia de escala, ampliando o seu grau de competitividade.

Ademais, esta competitividade derivada da produção de H2V para o mercado interno irá garantir uma posição de destaque ao Brasil no mercado internacional desta nova *commodity* energética mundial, dado que estimativas da IRENA indicam que o H2 deverá, até 2050, representar 12% na matriz energética mundial.

Por fim, um elemento central para o Brasil é o estímulo ao desenvolvimento de projetos pilotos, tendo como exemplo emblemático o projeto português do *hub* do Porto de Sines. Por se tratar de uma indústria nascente, estímulos e incentivos devem ser estruturados no âmbito de uma política industrial e energética, a fim de que um novo conhecimento seja construído com ênfase nos desafios e inovações tecnológicas e na dinâmica da redução dos custos associada às economias de escala.

O Brasil e as estratégias da Alemanha para o Hidrogênio Verde¹

Nivalde de Castro²

Vitor Santos³

Thereza Aquino⁴

Em um futuro bem próximo, o Brasil possui plenas condições de se tornar um grande produtor de hidrogênio verde (H2V) para atender a demanda internacional e abastecer o mercado interno da indústria eletro intensiva e de transporte pesado, em função da dimensão expressiva dos desafios, cada vez mais rigorosos, relacionados à redução das emissões de CO2 em escala mundial e nacional.

Esta assertiva deve-se à conjugação de quatro vetores centrais do Setor Elétrico Brasileiro (SEB), que irão garantir a competitividade da produção nacional de H2V em comparação ao resto do mundo, sendo eles:

- i. O potencial de recursos energéticos renováveis, superior a 1,3 milhão de MW de energias eólica e solar;
- ii. O modelo de contratação de novas plantas de geração e de linhas de transmissão, através de leilões competitivos;
- iii. Os preços baixos da energia renovável contratada nos últimos leilões; e
- iv. O Sistema Interligado Nacional, que permite a transmissão de energia elétrica dentro do espaço continental do Brasil, literalmente do Oiapoque ao Chuí.

Em relação à demanda interna de H2V brasileira, destacam-se, entre outros, a produção de amônia, de metanol, a redução direta de minério de ferro e o refino de produtos petrolíferos. Estas atividades associadas à descarbonização industrial tendem a fomentar a criação de um *cluster* industrial direcionado à produção de hidrogênio, abrindo possibilidades concretas de inovações tecnológicas necessárias à conversão energética dos processos produtivos.

¹ Artigo publicado pelo Broadcast da Agência Estado de São Paulo em 16 de setembro de 2021.

² Professor do Instituto de Economia da UFRJ e coordenador do GESEL- Grupo de Estudos do Setor Elétrico

³ Professor do ISEG- Instituto Superior de Economia e Gestão – da Universidade de Lisboa e Pesquisador Associado do GESEL-UFRJ

⁴ Professora da Escola de Engenharia da UFRJ e Pesquisadora Associada do GESEL-UFRJ

Nestes termos, a criação e o desenvolvimento da cadeia produtiva brasileira do hidrogênio irá permitir e viabilizar a substituição progressiva dos fornecimentos atuais de hidrogênio de base fóssil e de outros recursos energéticos de origem fóssil por H2V. Deste modo, novos produtos “verdes”, quando devidamente certificados, irão consolidar a formação de um *cluster* associado ao hidrogênio, com atividades geradoras de elevado valor agregado.

Estes condicionantes indicam a capacidade competitiva da produção de hidrogênio para exportação, em especial para grande parte dos países europeus, com destaque para a Alemanha, que possui uma dupla vantagem no estabelecimento de parcerias com o Brasil. Por um lado, a Alemanha é uma liderança no desenvolvimento tecnológico da cadeia produtiva do hidrogênio. Por outro, é um país crescentemente dependente da importação de hidrogênio verde, recurso energético renovável capaz de garantir o cumprimento das metas do processo de descarbonização até 2050.

A Alemanha constitui um exemplo interessante em relação à explicitação de uma dimensão internacional das estratégias nacionais para o hidrogênio, tendo como objetivo maior a criação de novas cadeias de valor para a economia nacional e, dentro desta estratégia, fomentar a cooperação em políticas de energia em nível internacional. Neste contexto, merece ser destacado que a Alemanha detém uma posição de liderança tecnológica nos diferentes segmentos da cadeia de valor do hidrogênio, possui um potencial de procura interna deste vetor energético muito elevada, em função das metas de descarbonização, e não dispõe de uma vantagem competitiva de custos na produção de eletricidade de base renovável própria.

Estes fatores determinam que a Alemanha não apresenta condições de firmar uma estratégia autocentrada no âmbito nacional, mas está em excelente posição para ter um papel decisivo na liderança da cadeia de valor global do hidrogênio, em razão do domínio tecnológico e de ter uma alta dependência externa para o atendimento do consumo interno de H2V.

Neste sentido, a Alemanha estima que a procura nacional de hidrogênio se situará no intervalo entre 90 TWh e 110 TWh, em 2030. Como prevê instalar 5 GW de capacidade, o país apenas terá a capacidade para produzir 14 TWh de hidrogênio verde em 2030, impondo a necessidade de importar entre 76 TWh e 96 TWh nesse ano, o que corresponde a cerca de 85% do total da demanda interna.

Assim, em decorrência dos compromissos de descarbonização assumidos pela Alemanha, foi apresentada recentemente uma iniciativa ambiciosa e positiva para a criação de um mecanismo competitivo, com a finalidade de viabilizar

trocas internacionais de hidrogênio, muito adequado às circunstâncias atuais e ao grau de maturidade deste vetor energético no país.

No intuito de se criar as bases do mercado de hidrogênio verde no país, em abril de 2021, foi constituído o fundo de investimento H2Global, com uma dotação de € 2 bilhões, para suportar e financiar dois leilões complementares (*Double auction model*)

O primeiro leilão é direcionado à compra e importação de hidrogênio (ou derivados) verde ou de baixo carbono, configurando um mecanismo competitivo que pretende estabelecer preços eficientes de importação e firmar contratos de longo prazo de fornecimento (incluindo o transporte) de hidrogênio, exclusivamente direcionados ao mercado interno alemão. O segundo leilão realizará vendas anuais de H2V para suprir o mercado interno, de modo a garantir a celebração de contratos de curto prazo de fornecimento de hidrogênio, para diferentes tipos de consumidores na Alemanha.

Com a finalidade de concretizar estes leilões, foi criada uma entidade privada, o HINT.CO, que terá a função de atuar na intermediação entre os contratos de compra internacional e venda nacional de hidrogênio. Nota-se que esta intermediação é necessária não só pelos ajustes de prazos e quantidades, mas também pela diferença de custos entre o hidrogênio verde, mais caro por ser ainda uma indústria nascente, e o hidrogênio de base fóssil, mais barato por se uma indústria madura.

Deste modo, para que o H2V possa ser consumido de maneira competitiva e contribuir para o processo de descarbonização, o diferencial de preços entre os contratos de importação e os contratos de venda aos consumidores alemães será coberto por uma compensação financiada através dos € 2 bilhões do H2Global.

Trata-se, assim, de exemplo consistente de política pública propositiva do governo alemão, com o objetivo, gradual, porém inexorável, de converter o consumo do hidrogênio de base fóssil para o H2V, reduzindo, ao longo do tempo, a diferença de preços entre os contratos de curto e de longo prazo, em razão dos ganhos de escala da produção.

O governo alemão demonstra, portanto, a intensão de criar condições propícias à convergência de custos entre o H2V e o hidrogênio fóssil, a partir da promoção de políticas públicas que onerem, de forma crescente, o preço dos combustíveis fósseis (reformas em curso no mercado europeu de direitos de emissão) e que incentivem a utilização deste novo recurso energético, através da fixação de quotas de utilização de hidrogênio verde ou de baixo carbono, assim como da fixação de metas de emissões de CO2 mais exigentes.

Destaca-se que uma das preocupações centrais dos investimentos em H2V é garantir a “bancabilidade” de projetos que ainda apresentam um risco

expressivo. Este aspecto possui uma grande relevância, dado que a opção de financiamento passa necessariamente pela modelagem do *project finance* tão conhecida e adotada no SEB graças ao BNDES. Esta modelagem financeira tem, naturalmente, diferentes componentes de risco, mas uma das ponderações mais importantes para atrair potenciais financiadores será determinada pelas características dos contratos de exportação a serem firmados com agentes econômicos, visando atender a demanda internacional/nacional.

Neste sentido, Rachel Crouch afirma que “*the gold standard for project financing is a long-term, fixed-price offtake contract with a utility or other public or quasi-public purchaser*”⁵. Na Alemanha, os contratos de longo prazo para compra e importação de hidrogênio vão contribuir para reduzir substancialmente o risco dos exportadores e, por isso, servirão certamente de modelo para outros países importadores de H2V.

Ao nível mais geral, os futuros acordos de parceria deverão abordar o cofinanciamento do investimento, a cooperação em pesquisa e desenvolvimento e uma visão holística que não está confinada à produção do hidrogênio. Esta, entende-se, será expandida às cadeias de valor dos setores econômicos que deverão substituir os recursos energéticos não renováveis pelo H2V, por imposição vinculadas às metas de descarbonização. Dentre tais setores, destacam-se a indústria química e petroquímica, ferro e aço, transportes rodoviários pesados, aviação, transportes marítimos e, obviamente, o próprio setor elétrico.

Neste contexto de transformação energética mundial, no qual o hidrogênio irá assumir uma posição ímpar como uma nova *commodity* no mercado mundial, abre-se uma possibilidade para os países emergentes de reposicionamento nas cadeias de valor dos setores de consumo de H2V de maior valor agregado, onde o Brasil, como examinado anteriormente, possui condições competitivas muito favoráveis.

Assim, a título de conclusão, os países com elevado potencial de recursos energéticos renováveis, como o Brasil, podem se tornar exportadores de hidrogênio verde, porém não existe, ainda, um mercado global deste recurso. O atual momento está na fase da negociação de acordos de parceria bilaterais e de definição de mecanismos de mercado pelos países com um perfil importador. Os países da União Europeia, em particular a Alemanha, já demonstraram, pela sua capacidade de iniciativa, necessidade e de liderança, ser uma escolha adequada de parcerias estratégicas face à capacidade do setor elétrico brasileiro e do seu perfil competitivo.

⁵ Sobre este assunto, ver “Financing hydrogen projects brings unique challenges, Norton Rose Fulbright”. Disponível em: <https://www.nortonrosefulbright.com/en-gb/knowledge/publications/cd725de6/financing-hydrogen-projects-brings-unique-challenges>.

O Brasil na Transição Energética para o Hidrogênio Verde¹

Nivalde de Castro²

Ana Carolina Chaves²

Adely Branquinho Dores²

O objetivo deste artigo é demonstrar que o Brasil possui condições concretas de assumir um papel de predominância no processo de transição energética (PTE) mundial, no qual o hidrogênio verde (H₂V) irá substituir o petróleo e o gás natural, como principal recurso energético, até 2050.

A crise do petróleo de 1973 instaurou um cenário de risco de segurança de suprimento, com o aumento e a instabilidade do preço do barril, iniciando o PTE. E, a partir da ECO 92, as preocupações com o aquecimento global definiram uma nova dinâmica, firmando os dois vetores principais deste processo: segurança energética e sustentabilidade ambiental.

O PTE mundial é medido pelo aumento da participação das fontes renováveis na composição da matriz energética. A velocidade da transição é muito lenta, em função basicamente de dois elementos. O primeiro, de caráter econômico, está associado à base produtiva da energia, composta por ativos capital intensivos, de longo prazo de maturação e que não foram totalmente amortizados. O segundo, mais crucial, é a garantia da segurança nacional de suprimento, priorizando-se, ao máximo, o uso dos recursos energéticos existentes em seu território.

A União Europeia (UE) é muito dependente da importação de recursos energéticos, ficando exposta ao risco de suprimento. Por isso, adotou políticas

¹ Artigo publicado no jornal Valor Econômico. Disponível em <https://valor.globo.com/opiniao/coluna/o-brasil-na-transicao-energetica-para-o-hidrogenio-verde.ghtml>. Acesso em 21 janeiro 2021.

² Professor do Instituto de Economia da UFRJ e coordenador do GESEL – Grupo de Estudos do Setor Elétrico.

² Pesquisadoras do GESEL-UFRJ.

públicas com metas ambiciosas para a transição energética, tornando-se o principal *player* mundial da sustentabilidade ambiental. Deste modo, enquanto que, em 2000, somente 14% da energia elétrica produzida no mundo e na UE era gerada por fontes renováveis, em 2018, o mundo avançou para 25% e a UE atingiu 32%. Esta performance europeia decorreu dos programas de incentivos às energias eólica e solar, as quais, por serem recursos genuinamente nacionais, reduziram o risco de suprimento e, ao mesmo tempo, promoveram sustentabilidade.

Um novo vetor veio para acelerar o PTE, a pandemia do corona vírus, provocando uma das mais profundas recessões econômicas dos últimos 90 anos. Para superá-la, os países mais ricos estão adotando estratégias de desenvolvimento econômico focadas na descarbonização, mediante vultosos investimentos em tecnologias verdes. São programas que irão alterar de forma definitiva a matriz energética e, o mais estratégico, criar novas cadeias produtivas de bens e serviços, gerando empregos e aumento da renda, com a redução das emissões de CO₂.

Um exemplo é a mutação da indústria automobilística mundial dos veículos a combustão para veículos elétricos. Esta dinâmica, que integra governos, empresas e centros de pesquisa, está criando um círculo virtuoso com novos produtos, processos e serviços, através de maciços investimentos em tecnologias verdes.

Destaca-se que o sucesso da transição energética é inteiramente depende da disponibilidade de fontes renováveis para efetivar a descarbonização. Porém, como a quase totalidade dos países mais ricos não possui potencial de recursos energéticos renováveis, há a necessidade de um novo recurso para assumir o papel do carvão, no Século XIX, e do petróleo, no Século XX. Este recurso energético renovável será comercializado no mercado mundial para atender a demanda crescente de energia imposta pelo PTE.

O planejamento energético identifica o hidrogênio (H₂) como o recurso capaz de atender esta demanda e assumir uma posição predominante na matriz energética mundial até 2050. Os desafios tecnológicos, porém, são grandes para a sua produção, transporte e armazenamento, mas investimentos e motivações sobram.

Um fator técnico relevante é que a produção mais eficiente do H₂ é intensiva em energia elétrica. Segundo os planos da UE, em uma primeira fase, o H₂ será produzido através da reforma do gás natural (H₂ azul). Porém, em seguida, o H₂ deverá ser produzido com energia elétrica derivada de recursos renováveis (eólico e solar), na forma de H₂V para viabilizar a descarbonização prevista.

Neste cenário, será formado um mercado mundial da *commodity* H₂, com uma estrutura bem mais competitiva e favorável aos países ricos, dado que qualquer país capaz de produzir energia elétrica poderá produzir e exportar de H₂. Neste novo contexto energético mundial, o Brasil tem condições concretas de tornar rapidamente um grande exportador de H₂V, especialmente por dois fatores.

O primeiro, e mais relevante, é o seu potencial de energia eólica e solar, impar em relação ao resto do mundo. Estimativas preliminares da EPE (PNE 2050) indicam um potencial eólico de 700 GW *offshore* e 353 GW *onshore*, enquanto que, em dezembro de 2020, a capacidade instalada desta fonte atingiu 16 GW. Já o potencial da energia solar é de 307 GWp, com pouco mais de 3 GWp instalados, hoje. Destaca-se que a capacidade instalada total de geração do Brasil em fins de 2020 era de 165 GW (ONS).

O segundo fator é a estrutura institucional que contempla uma política energética com planejamento de longo prazo (EPE), operação centralizada do sistema elétrico que atende a carga espacialmente dispersa no território brasileiro, marco regulatório consistente e independente (ANEEL), eficiente sistema de compensação de contratos (CCEE) e padrão de financiamento consolidado (BNDES). Este marco institucional, desenvolvido desde 2000, conseguiu garantir a ampliação da capacidade geradora e de transmissão, via leilões competitivos, firmando contratos de longo prazo, indexados, com previsibilidade de receita e segurança jurídica, atraindo os investimentos necessários com predominância crescente de agentes privados.

Nestes termos, o Brasil possui plenas condições de assumir uma posição de liderança no mercado mundial da nova *commodity* energética, o hidrogênio verde, em função de seu imenso potencial de fontes renováveis e modelo de contratação seguro para novos investimentos.

O papel estratégico do hidrogênio verde na transição energética global⁽¹⁾

Nivalde de Castro (2)

As adversidades climáticas associadas ao aquecimento global tornaram-se uma realidade no cotidiano mundial, materializadas em temperaturas extremadas, secas recordes, incêndios, enchentes, etc. Como resultante, a conscientização ambiental da sociedade atingiu níveis elevados, impondo aos governos nacionais e aos organismos internacionais a formulação de programas e políticas públicas, que se configuram no conceito de transição energética.

O objetivo central desta evolução acelerada no campo da energia é a descarbonização das atividades produtivas e dos padrões de consumo, através da redução das emissões de CO₂, para que os países sejam capazes de atingir as metas de neutralidade do carbono no entorno de 2050. Para tanto, está em curso um processo de substituição do uso dos recursos energéticos fósseis, como carvão, petróleo e gás natural, por fontes renováveis, com destaque às energias eólica e solar.

Nesta direção, as matrizes energética e elétrica vêm apresentando mudanças em sua composição a favor das fontes renováveis, em velocidades distintas entre os países, em razão da disponibilidade nacional dos recursos energéticos. Por exemplo, a atual etapa da transição energética dos Estados Unidos está substituindo o carvão pelo gás natural, em função da nova tecnologia de extração do sheel gas, que aumentou substancialmente as reservas deste recurso, bem menos poluidor do que o carvão. A China, por outro lado, continua com uma alta participação do carvão na matriz, usando as vantagens competitivas de deter grandes reservas desta fonte. Estes dois exemplos revelam a prioridade máxima da política energética, qual seja a segurança do atendimento da demanda energética interna.

De modo geral, a transição energética nacional busca conciliar a segurança de suprimento com a descarbonização. Esta assertiva leva a um questionamento estratégico: os países possuem, em suas fronteiras, potencial de recursos energéticos renováveis para trilhar na transição e garantir o atendimento da demanda de energia verde? Esta questão pode ser respondida focando-se na União Europeia. A resposta é não.

A União Europeia, em relação aos EUA e à China, apresenta o maior coeficiente de importação de recursos energéticos para atender a sua demanda, sendo que a sua totalidade é de recursos não renováveis. Neste sentido, a estratégia de transição para uma sociedade verde é pertinente. Porém, como será possível atingir a neutralidade de emissão de CO₂, em 2050, se a União Europeia tem um potencial de fontes renováveis baixo frente ao desafio da descarbonização? A solução para a União Europeia, e para a maioria dos países desenvolvidos, é o hidrogênio verde, com o detalhe de que o insumo deverá ser importado.

Atualmente, as duas principais commodities de energia do mercado mundial são o petróleo e o gás natural, tendo poucos países produtores e muitos consumidores, como é o caso da União Europeia. Esta configuração de mercado é classificada pela teoria econômica como um mercado de oligopólio, com os preços sendo influenciados pela oferta, ou seja, pelos poucos países produtores. Ademais, conforme as evidências históricas têm demonstrado, o preço destes recursos é afetado constantemente pelas dinâmicas geopolíticas internacionais.

O hidrogênio, por sua vez, irá configurar uma estrutura de mercado de oligopsônio, caracterizada por muitos produtores e poucos compradores. Os países desenvolvidos serão o grande mercado consumidor de hidrogênio, uma vez que, neles, as novas tecnologias de produção, armazenamento e transporte estão sendo fomentadas por grandes programas de incentivos e subsídios. Neste sentido, destacam-se as tecnologias de conversão do uso de recursos não renováveis para o hidrogênio pelos setores industrial e de transporte.

Uma dimensão do potencial do mercado da commodity hidrogênio é a Alemanha, maior país emissor de CO₂ da União Europeia e grande importador de recursos energéticos não renováveis. As estimativas oficiais indicam que cerca de 90% da necessidade de hidrogênio verde para 2050 deverá ser importada, com a finalidade de garantir, simultaneamente, a configuração de uma economia totalmente verde e a segurança de atendimento da demanda total.

Pelo lado da oferta, qualquer país que possuir potencial de recursos renováveis (eólico, solar, biomassa, hidroelétrico, etc.) poderá estruturar uma cadeia produtiva para produção de hidrogênio, tanto, prioritariamente, para exportação, como para uso interno deste recurso com o objetivo de converter a sua matriz de consumo de energia.

No cenário dos potenciais países produtores de hidrogênio verde, o Brasil apresenta condições muito consistentes e promissoras de se tornar um dos principais players para a formação do mercado mundial desta nova commodity. Esta possibilidade deriva de dois vetores. O primeiro é o potencial total de capacidade de produção de energia eólica e solar, estimado em 1.300 gigawatts (GW). Observa-se que, hoje, na matriz do setor elétrico brasileiro há 20 GW e 4,7 GW de capacidade instalada eólica e solar, respectivamente, com a estimativa, para 2025, de atingir 25 GW e 7,2 GW: um valor ínfimo em relação ao potencial total. Além disso, estas plantas geradoras de energia renovável estão interconectadas por uma rede de linhas de transmissão com mais de 145 mil quilômetros de extensão. Em suma, o Brasil possui um imenso potencial para produzir hidrogênio verde no seu espaço continental e tropical capaz de suprir a demanda mundial.

O outro vetor é o modelo de contratação e o marco regulatório setorial, os quais, pela sua fundamentação e segurança, apresentam riscos baixos para novos investimentos. Os resultados dos leilões de energia nova e de linhas de transmissão recentemente realizados indicam claramente uma oferta de investimentos muito superior à demanda, resultando em deságios elevados e garantindo a expansão da geração e da transmissão a custos competitivos.

Desta forma, a produção de hidrogênio verde no País irá criar uma nova fronteira de investimentos em novas plantas eólicas e solares, bem como em linhas de transmissão, descolada da demanda interna de energia elétrica. Obviamente, os desafios tecnológicos, econômicos e regulatórios são expressivos. Contudo, dada a necessidade imperiosa dos países desenvolvidos em atender suas demandas internas de um recurso energético verde frente ao potencial produtivo do Brasil, o cenário é

promissor.

(1) Artigo publicado no Broadcast Energia. Disponível em:

<https://energia.aebroadcast.com.br/tabs/news/747/38813683>. Acesso em 03 de setembro de 2021.

(2) Nivalde de Castro é professor do Instituto de Economia da UFRJ e coordenador do Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL-UFRJ). Escreve quinzenalmente para o Broadcast Energia. Este artigo teve a coautoria de Vitor Santos, professor do ISEG e pesquisador Associado do GESEL-UFRJ e Nelson Siffert, diretor-geral do ICT RESEL.