

O hidrogênio como fonte de energia: uma visão regulatória⁽¹⁾

Mariana Campos
Clarissa Leão
Lívia Amorim

O crescimento do hidrogênio como fonte de energia

Com a celebração do Acordo de Paris, observou-se um maior empenho internacional para buscar formas de reduzir as emissões dos gases causadores do efeito estufa e mitigar seus efeitos sobre as mudanças climáticas. Essa iniciativa representou uma aceleração dos esforços voltados à transição para economias de baixo carbono, passando a se priorizar formas de combustão mais eficientes, nas quais maior quantidade de energia produzida pela mesma massa somadas à menor emissão de poluentes.

É nesse contexto que ganha corpo a exploração do hidrogênio para além de seu uso como matéria-prima. O hidrogênio pode ser empregado para diversos usos: mobilidade, residencial, energia e indústria. No que diz respeito à mobilidade, há cinco principais modais de transporte que poderiam se beneficiar do uso do hidrogênio como combustível energético: rodoviário de passageiros, rodoviário de carga, ferroviário, marítimo e aeroportuário. O uso doméstico pode ser favorecido com o aquecimento residencial e da água, por exemplo, em que o hidrogênio seria transportado misturado à rede já existente de gás ou por meio de infraestrutura dedicada. O hidrogênio pode também ser utilizado para gerar eletricidade, mediante armazenamento e geração por meio de turbinas de gás ou células de combustível à base de hidrogênio. Por fim, o uso industrial requer o hidrogênio para produzir vapor de alta temperatura, para fabricação de produtos não energéticos (e.g., amônia, plástico) e combustíveis sintéticos, para tratamento de materiais siderúrgicos, dentre outros. [1]

Como o hidrogênio dificilmente aparece na natureza de forma isolada, é mais comum que sua existência se dê em combinação com outros elementos químicos (e.g., oxigênio, nitrogênio e carbono). Desse modo, é necessária a realização de processos físicos ou químicos para separá-lo e permitir seu uso como fonte de energia, na sua forma molecular (H₂). Nessa linha, o hidrogênio pode ser obtido através de inúmeros recursos e processos [2]. Estudo recente da *Florence School of Regulation* identificou, em dados de janeiro de 2021, vinte e duas tecnologias capazes de produzir hidrogênio, das quais pelo menos treze poderiam funcionar como energia renovável, a despeito de nem todas serem economicamente viáveis [3]. Dentre elas, há três rotulagens mais comuns [4], as quais identificam a forma de obtenção do hidrogênio: verde, cinza e azul.

O hidrogênio **verde** é produzido mediante uso de eletricidade obtida de energias renováveis (e.g., parques eólicos) para impulsionar a eletrólise da água [5], sendo a alternativa mais limpa de obtenção, por ser livre de emissões. Por sua vez, o hidrogênio **cinza**, que é gerado a partir de gás fóssil com a reforma do metano a vapor, com emissão de CO₂ na atmosfera, é a principal forma de produção utilizada atualmente [6]. Há, ainda, o hidrogênio **azul**, cuja produção é baseada em combustíveis fósseis com captura, utilização e armazenamento de carbono (CCS, da expressão em inglês "*carbon capture and storage*"). É também conhecido como gás "descarbonizado" ou "de baixo carbono" em razão da captura de CO₂ com o CCS.

Para além dessas três classificações, é possível listar o hidrogênio turquesa, produzido a partir de gás fóssil com o emprego da tecnologia de pirólise de metano fundido, que gera também carbono sólido. Como o carbono sólido não é liberado para a atmosfera, o método de produção é considerado livre de emissões. Por fim, fala-se em hidrogênio marrom, gerado através da gaseificação de carvão ou linhito. As diferentes formas de obtenção do hidrogênio (tanto de forma primária quanto secundária) e os esforços que vem sendo feitos para sua utilização em larga escala levam a um debate jurídico-regulatório sobre (i) a divisão de competências para regulação deste energético e (ii) a necessidade ou não de criação de um marco normativo específico para o hidrogênio.

Na seção seguinte, apresenta-se brevemente algumas das medidas que estão sendo adotadas nos Estados Unidos e na União Europeia para fomento ao desenvolvimento da indústria. Por fim, a seção final endereça de forma introdutória alguns desafios do ponto de vista jurídico que podem ser enfrentados para a construção de um marco regulatório relativo à regulação do hidrogênio no Brasil (dadas suas múltiplas formas de obtenção e a divisão de competências atualmente observada na Constituição Federal).

O marco regulatório do hidrogênio

As discussões regulatórias no Brasil sobre o uso de hidrogênio como fonte de energia ainda são incipientes.

No Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050), a EPE indica o hidrogênio como energético disruptivo, que irá alterar significativamente o mercado energético. No entanto, dado o estágio preliminar das projeções, o PNE não traça um panorama para desenvolvimento deste mercado no Brasil (ainda que eventualmente destinado a exportações).

Dentre os principais desafios da normatização da indústria do hidrogênio no Brasil, o PNE 2050 destaca os seguintes: (i) definição do marco regulatório associado à infraestrutura para movimentação do hidrogênio, inclusive no que diz respeito à possibilidade de injeção na malha de transporte de gás natural; (ii) definição das regras aplicáveis ao armazenamento do hidrogênio, sugerindo que poderiam ser endereçadas no âmbito do arcabouço regulatório aplicável à estocagem subterrânea de gás natural; (iii) definição das regras aplicáveis a baterias de hidrogênio, principalmente em sua utilização no setor elétrico; (iv) regulação da qualidade e padronização para consumo (equipamentos de medição, normas técnicas para equipamentos de geração de energia elétrica, etc).

Nos Estados Unidos da América, o arcabouço normativo já contempla algumas disposições específicas sobre o tema. Desde 1992, o hidrogênio é considerado combustível alternativo pelo *Energy Policy Act of 1992*, que surge para reduzir a dependência do petróleo e contribuir para a preservação ambiental. A norma incentiva o uso de combustíveis alternativos por meio de atividades regulatórias e voluntárias elaboradas pelo *U.S. Department of Energy*.

Mais especificamente, o uso de hidrogênio em veículos elétricos (FCEVs, da expressão em inglês “*fuel cell electric vehicles*”) recebe especial atenção. FCEVs já estão disponíveis, em quantidade limitada, para o mercado interno norte-americano e o país estuda possibilidades da utilização do combustível para operação de ônibus, caminhões, embarcações marítimas, equipamentos industriais, veículos aeroportuários, dentre outros usos[7].

Em concreto, tem-se alguns exemplos do previsto nas normas americanas em relação ao hidrogênio (i) o *NIST Handbooks No. 44/2020* padroniza pesos e medidas para adoção em pontos de reabastecimento comerciais de hidrogênio combustível;

(ii) o *NIST Handbook No. 130/2020* define, padroniza e especifica o hidrogênio combustível para uso em FCEVs, e ainda regulamenta o comércio varejista, a rotulagem e a propaganda comercial de hidrogênio combustível para veículos e geradores de energia; (iii) o *Hydrogen and Fuel Cells Permitting Guide* apresenta guia geral para a obtenção de autorização para o desenvolvimento de tecnologias voltadas ao hidrogênio combustível; (iv) o *Code of Federal Regulations, Title 29, Subpart H, § 1910.103* regulamenta e define a instalação de sistemas a hidrogênio em diversos aspectos (*i.e.*, locação, armazenagem, containers, sistemas transporte via dutos, montagem de equipamentos, marcação, testagem, sistemas de segurança, etc.); (v) o *Code of Federal Regulations, Title 40, § 98.160* regulamenta a produção de hidrogênio combustível de diversos tipos; e (vi) o *Code of Federal Regulations, Title 49, §192.31* regulamenta o transporte de hidrogênio.

A União Europeia também reconhece que o hidrogênio terá um papel importante no futuro energético dos países integrantes do bloco. Em julho de 2020, a Comissão Europeia divulgou estratégia para o desenvolvimento de um mercado de hidrogênio, cuja implementação ocorrerá em três fases: (i) para 2020-2024, a descarbonização da produção de hidrogênio voltado para a indústria química e para novas aplicações; (ii) para 2024-2030, a integração do hidrogênio combustível na matriz energética europeia, a aplicação na indústria siderúrgica e nos setores de transporte rodoviário, ferroviário e marítimo; (iii) para 2030-2050, o pleno desenvolvimento de tecnologias voltadas para o hidrogênio combustível em todos os setores em que outras fontes alternativas não são viáveis [8].

O projeto do bloco europeu é embrionário e a regulação dos países membros é fragmentada, de modo que não há parametrização emitida pela própria União Europeia. O bloco pretende investir na economia do hidrogênio com a construção de rede de infraestrutura integrada para um mercado competitivo. A proposta é criar estruturas de transporte e armazenamento novos e reaproveitadas, bem como instalações transfronteiriças. Estima-se que uma rede de gasodutos de 6.800 km precisará estar pronta até 2030 e deverá crescer para 23.000 km até 2040, e que grande parte desses números será alcançada com o reaproveitamento dos gasodutos existentes de gás natural [9].

Apesar disso, o desenvolvimento da infraestrutura e do futuro regime regulatório do hidrogênio ainda estão em estágio inicial também na União Europeia. Condições de acesso às redes de transporte, regras comuns ao mercado interno dos países que integram o bloco e previsões para concorrência do hidrogênio ainda precisam ser definidas pelos órgãos reguladores [10]. É possível que a abordagem conferida ao mercado de gás natural – Regulamento (CE) nº 715/2009 e Diretiva nº 2009/73/CE – seja replicada para a regulação do hidrogênio [11]. A previsão é que a Comissão Europeia divulgue proposta legislativa a respeito de gases descarbonizados no quarto trimestre de 2021 [12].

Em paralelo, a Agência da União Europeia para a Cooperação dos Reguladores de Energia (ACER) e o Conselho de Reguladores Europeus de Energia (CEER) publicaram livro com seis recomendações acerca do mercado de hidrogênio [13]. Em síntese, (i) a regulamentação das redes de hidrogênio e o desenvolvimento do mercado e da infraestrutura devem ser graduais; (ii) a abordagem regulatória deve ser dinâmica, em resposta ao monitoramento periódico do mercado; (iii) os princípios regulatórios aplicáveis ao mercado de hidrogênio devem ser estabelecidos antes do início da operação; (iv) as isenções regulatórias para a infraestrutura de hidrogênio (existentes e novas) devem ser concedidas temporariamente; (v) a avaliação de possíveis benefícios da reutilização de ativos de gás para o transporte de hidrogênio deve ser realizada pelas autoridades competentes; e (vi) a refletividade de custo deve ser aplicada para evitar subsídios cruzados entre usuários das redes de gás e hidrogênio.

Perspectivas jurídicas para o cenário brasileiro

No Brasil, em razão dos diferentes processos físicos ou químicos para separar o hidrogênio associado a outros elementos e, assim, permitir seu uso como fonte de energia, a competência para regular o tema pode ser cinzenta ou mesmo indefinida a nível constitucional. Afinal, das três modalidades mais comuns (hidrogênio verde, cinza e azul), uma delas deriva da separação da molécula de água, outro da separação de hidrocarbonetos ou da emissão de carbono encontrado em combustíveis fósseis. Para cada um desses pode-se discutir uma competência constitucional distinta para exploração e consequente regulação, o que é ainda aprofundado se especificado cada nicho da cadeia. Em um exemplo breve, um duto para movimentação de hidrogênio derivado da molécula de água seguiria o mesmo regime normativo aplicável à construção e operação de uma adutora de água? Caso se tratasse de hidrogênio obtido a partir do petróleo ou do gás natural, atrairia o regime do art. 177, IV da Constituição e em consequência do art. 56 e 58 da Lei do Petróleo? Seria necessária uma autorização prévia para produção do hidrogênio verde? Se sim, com qual fundamento legal?

Em síntese, se o desenvolvimento dessa indústria vier de fato a ocorrer em escala relevante no Brasil e – mesmo considerando a segurança jurídica necessária para que os primeiros projetos sejam desenvolvidos –, será necessário enfrentar o enquadramento jurídico aplicável, por exemplo, às atividades de produção, comercialização, armazenamento, transporte, estocagem do hidrogênio. Considerando a aparente interseção – ou vácuo, a depender da leitura – de competências infraconstitucionais dada a multiplicidade de fontes de produção e o ineditismo do tema no país, neste estágio inicial do desenvolvimento do mercado, seria relevante que alguma entidade com competência transversal fizesse o papel de orientar o mercado sobre as regras aplicáveis (e as não aplicáveis), inclusive para fins de identificar a necessidade de criação de um marco regulatório unificado e que supere as indefinições atualmente observadas.

Considerações finais

Acordos internacionais celebrados com o intuito de reduzir as emissões dos gases causadores do efeito estufa aceleraram os planos de transição para economias de baixo carbono. Nesse contexto, o hidrogênio tem ganhado projeção como solução energética, podendo ser empregado para mobilidade e indústria, por exemplo. Dadas as diferentes formas de produção, primária e secundária, do hidrogênio, o quadrante jurídico aplicável para o exercício das atividades na cadeia ainda não está bem delimitado. Para o avanço dos projetos com segurança jurídica, ainda que não haja a criação de um marco normativo específico aplicável exclusivamente a tais atividades, será necessário um esforço de coordenação e transparência para deixar clara a legislação incidente e, se houver, a autoridade reguladora aplicável. Sob tal norte, os investidores terão mais segurança para tomada de decisão e modelagem em concreto dos gargalos enfrentados, sinalizando a necessidade ou não de um marco regulatório específico e das reformas normativas necessárias para exploração das atividades (inclusive sob aspectos ambientais e tributários).

Notas

[1] REIS, Piero C.. *Hydrogen demand: several uses but significant uncertainty*. Florence School of Regulation – European University Institute. Energy & Climate, Gas, 2021. Disponível em: <<https://bit.ly/2NW0r0Q>>. Acesso em 06.02.2021.

[2] A título ilustrativo, as metodologias mais utilizadas na literatura são: (i) reforma do gás natural, com o emprego de altas temperaturas para separar os átomos de hidrogênios presentes no metano (CH₄), gerando como subproduto o monóxido de carbono (CO) e o dióxido de carbono (CO₂); (ii) oxidação parcial de hidrocarbonetos pesados, formando monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H₂); (iii) eletrólise da água, com a quebra da molécula de água (H₂O) em hidrogênio (H₂) e oxigênio (O₂) com a passagem de eletricidade; e (iv) produção biológica de hidrogênio, mediante emprego de mecanismos fotossintéticos (algas) e mecanismos fermentativos

(bactérias fermentativas). V. DE SÁ, V.; CAMAROTAN, M.C.; FERREIRA-LEITÃO, V.S. *Produção de hidrogênio via fermentação anaeróbia: aspectos gerais e possibilidade de utilização de resíduos agroindustriais brasileiros*. Química Nova, v.37, p.857-867, 2014; SANTOS, F. M.; SANTOS, F. A. O combustível “hidrogênio”. Revista Educação, Ciência e Tecnologia, nº 31, 2005, pp. 254-258.

[3] REIS, Piero C.. *‘Clean’ hydrogen production: a nascent market and several promising technologies*. Florence School of Regulation – European University Institute. Energy & Climate, Gas, 2021. Disponível em: <<https://bit.ly/2ZHkeUw>>. Acesso em 06.02.2021.

[4] Nesse sentido, cf.: “O hidrogênio pode ser produzido de três formas distintas, duas delas inviáveis do ponto de vista ambiental, e uma terceira, considerada metodologia limpa. A primeira é por meio da reforma do gás natural, procedimento dependente do petróleo. A segunda, menos poluente, por eletrólise da água, necessitando, no entanto, de uma grande quantidade de energia, sendo viável apenas por energia solar ou eólica. A terceira, a produção biológica de hidrogênio pela fermentação anaeróbia (ausência de oxigênio) do consumo de carboidratos adquiridos de resíduos e efluentes, considerados disfunções ambientais e econômicas.” SILVA, Inara A.. Hidrogênio: combustível do futuro. Ensaio Cienc., Cienc. Biol. Agrar. Saúde, v.20, n.2, p. 122-126, 2016.

[5] Eletrólise é o processo de separação dos átomos de hidrogênio e de oxigênio existentes em sua composição molecular.

[6] Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia – 2050. Disponível em: <<https://bit.ly/2MmFJXD>>. Acesso em 24.02.2021

[7] O Estado da Califórnia, em 2020, já contava com 43 pontos de venda de hidrogênio combustível para FCEVs abertos ao público, que suprem a demanda de mais de 8.000 veículos. Atualmente, financia diversos projetos de infraestrutura alimentadas pelo hidrogênio. U.S. Department of Energy. *Hydrogen Basics*. Energy Efficiency & Renewable Energy, AFDC, Fuels & Vehicles, Hydrogen. Disponível em: <<https://bit.ly/2Mo0AKi>>. Acesso em 26.01.2021.

[8] Trata-se do documento “A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe”. Comissão Europeia. COM (2020) 301 final. Julho de 2020. Disponível em: <<https://bit.ly/37KQHhf>>. Acesso em 22.02.2021.

[9] PIEBALGS, Andris; JONES, Christopher. Op. cit.

[10] O hidrogênio precisa ser misturado com metano fóssil na rede de distribuição existente. Em decorrência disso, o transporte de uma combinação de gases mistos e puros levanta questões sobre a adequação da infraestrutura de transporte de gás existente. Contudo, A mistura de hidrogênio é considerada arranjo temporário para transição para uma infraestrutura dedicada ao hidrogênio. V. Florence School of Regulation – FSR. *Exploring regulatory options for hydrogen networks with ACER*. Florence School of Regulation – European University Institute. Energy & Climate, Gas, 2021. Disponível em: <<https://bit.ly/3kje4U0>>. Acesso em 06.02.2021.

[11] PIEBALGS, Andris; JONES, Christopher. Op. cit.

[12] Florence School of Regulation – FSR. Op. cit.

[13] ACER; CEER. *When and How to Regulate Hydrogen Networks?* Fevereiro de 2021. Disponível em: <<https://bit.ly/3pRdtKi>>. Acesso em 23.02.2021.

Referências

ACER; CEER. *When and How to Regulate Hydrogen Networks?* Fevereiro de 2021. Disponível em: <<https://bit.ly/3pRdtKi>>. Acesso em 23.02.2021.

BENEMANN, John. *Hydrogen biotechnology: progress and prospects*. Nature Biotechnol., v. 14, p. 1101-1103, 1996.

CABRAL, Ana Claudia; FRIGO, Elisandro P.; PERISSATO, Samara M.; AZEVEDO, Kesia D.; FRIGO, Jianice P.; BONASSA, Gabriela. *Hidrogênio uma fonte de energia para o futuro*. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 3, p. 128-135, 2014.

CASEY, JP. *Will China do for hydrogen what it did for solar power?* Power Technology, Analysis, 2021. Disponível em: <<https://bit.ly/3iZEXMI>>. Acesso em 24.01.2021.

Comissão Europeia. COM (2020) 301 final. Julho de 2020. Disponível em: <<https://bit.ly/37KQHhf>>. Acesso em 22.02.2021.

DE SÁ, V.; CAMAROTAN, M.C.; FERREIRA-LEITÃO, V.S. *Produção de hidrogênio via fermentação anaeróbia: aspectos gerais e possibilidade de utilização de resíduos agroindustriais brasileiros*. Química Nova, v.37, p.857-867, 2014

Empresa de Pesquisa Energética. ABCDEnergia – Fontes de Energia. Disponível em: <<https://bit.ly/2NSVYMH>>. Acesso em 27.01.2021.

Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia – 2050. Disponível em: <<https://bit.ly/2MmFJXD>>. Acesso em 24.02.2021

ESTEVIÃO, Tânia E.R. O hidrogênio como combustível. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2018. Disponível em: <<https://bit.ly/37xSXlq>>. Acesso em 23.01.2021.

FÉ, Ana Lúcia M. *Brasil pode liderar a produção de hidrogênio verde*. Valor Econômico, 2021. Disponível em: <<https://glo.bo/3uqWU5a>>. Acesso em 23.02.2021.

Florence School of Regulation – FSR. *Exploring regulatory options for hydrogen networks with ACER*. Florence School of Regulation – European University Institute. Energy & Climate, Gas, 2021. Disponível em: <<https://bit.ly/3kje4U0>>. Acesso em 06.02.2021.

IEA. *The future of hydrogen*. Technology report. Junho de 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/3r0y3t8>>. Acesso em 24.02.2021.

IRENA. *Green hydrogen cost reduction*. Dezembro de 2020. Disponível em: <<https://bit.ly/3dRdOKC>>. Acesso em 22.02.2021.

IRENA. *Green hydrogen: A guide to policy making*. Novembro de 2020. Disponível em: <<https://bit.ly/3bFLQPk>>. Acesso em 22.02.2021.

LUPION, Bruno. *Aposta da Europa em hidrogênio verde abre janela ao Brasil*. DW, Brasil, 2020. Disponível em: <<https://bit.ly/37KSi6D>>. Acesso em 24.02.2021.

MURTAUGH, Dan. Hidrogênio é o combustível do futuro, diz AIE. Exame, Tecnologia, 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/3dzCHe0>>. Acesso em: 20.01.2021.

Organization of Economic Cooperation and Development (OECD). 1972. *Recommendation of the council on guiding principles concerning international economic aspects of environmental policies*. May. Council Document no. C(72)128. Paris: Organization of Economic Cooperation and Development.

PIEBALGS, Andris; JONES, Christopher. *Hydrogen regulation under time pressure*. Florence School of Regulation – European University Institute. Energy & Climate, Gas, 2021. Disponível em: <<https://bit.ly/3aQztAl>>. Acesso em 06.02.2021.

REIS, Piero C.. *Hydrogen demand: several uses but significant uncertainty*. Florence School of Regulation – European University Institute. Energy & Climate, Gas, 2021. Disponível em: <<https://bit.ly/2NW0r0Q>>. Acesso em 06.02.2021.

SANTOS, F. M.; SANTOS, F. A. *O combustível “hidrogênio”*. Revista Educação, Ciência e Tecnologia, nº 31, 2005.

SILVA, Inara A.. Hidrogênio: combustível do futuro. *Ensaio Cienc., Cienc. Biol. Agrar. Saúde*, v.20, n.2, p. 122-126, 2016.

U.S. Department of Energy. *Hydrogen Basics*. Energy Efficiency & Renewable Energy, AFDC, Fuels & Vehicles, Hydrogen. Disponível em: <<https://bit.ly/2Mo0AKi>>. Acesso em 26.01.2021.

(1) Artigo publicado no Ensaio Energético. Disponível em: <https://ensaioenergetico.com.br/o-hidrogenio-como-fonte-de-energia/>. Acesso em 11 de fevereiro de 2021.