

HIDROGÊNIO VERDE: NASCE UM GIGANTE NO SETOR DE ENERGIA

FRANCISCO DINIZ BEZERRA

Engenheiro Civil. Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.
Coordenador de Estudos e Pesquisas do BNB/Etene
diniz@bnb.gov.br

Resumo: Tendo como motivação principal o combate às mudanças climáticas, cresce no mundo a busca de soluções que conduzam à descarbonização da economia. Nesse contexto, o hidrogênio verde, assim chamado quando produzido com a utilização de fontes renováveis, é considerado a principal alternativa, já tendo mobilizado iniciativas em diversos países para o seu desenvolvimento. No entanto, há desafios a serem superados, principalmente, os relacionados ao custo de produção, ainda muito superior ao hidrogênio obtido de fontes fósseis, que emite gases de efeito estufa. O Brasil, em particular o Nordeste, apresenta vantagens competitivas para produção do hidrogênio verde, em razão do elevado potencial eólico e solar e pela competitividade da energia gerada por essas fontes, comparativamente a outros países. Alguns estados brasileiros, principalmente o Ceará, têm criado HUB de hidrogênio verde, visando à atração de investimentos. Nesse sentido, vários *players* nacionais e internacionais já manifestaram interesse em investir bilhões de dólares na cadeia produtiva do Hidrogênio Verde do Brasil. Assim, nasce uma nova indústria no país, abrindo espaços para a atração de vultosos investimentos, principalmente na Região Nordeste, face à sua maior competitividade na geração solar e eólica.

Palavras-chave: Hidrogênio; Hidrogênio Verde; Transição energética; Descarbonização; Economia do hidrogênio.

ESCRITÓRIO TÉCNICO DE ESTUDOS ECONÔMICOS DO NORDESTE - ETENE

Expediente: Banco do Nordeste: Luiz Alberto Esteves (Economista-Chefe). Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste - ETENE: Tibério R. R. Bernardo (Gerente de Ambiente). Célula de Estudos e Pesquisas Setoriais: Luciano F. Ximenes (Gerente Executivo), Maria Simone de Castro Pereira Brainer, Maria de Fátima Vidal, Jackson Dantas Coêlho, Kamilla Ribas Soares, Fernando L. E. Viana, Francisco Diniz Bezerra, Luciana Mota Tomé, Biágio de Oliveira Mendes Júnior. Célula de Gestão de Informações Econômicas: Bruno Gabai (Gerente Executivo), José Wandemberg Rodrigues Almeida, Gustavo Bezerra Carvalho (Projeto Gráfico), Hermano José Pinho (Revisão Vernacular), Jaine Ferreira de Lima e Vicente Anibal da Silva Neto (Bolsistas de Nível Superior).

O Caderno Setorial ETENE é uma publicação mensal que reúne análises de setores que perfazem a economia nordestina. O Caderno ainda traz temas transversais na sessão "Economia Regional". Sob uma redação eclética, esta publicação se adequa à rede bancária, pesquisadores de áreas afins, estudantes, e demais segmentos do setor produtivo.

Contato: Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste - ETENE. Av. Dr. Silas Munguba 5.700, Bl A2 Térreo, Passaré, 60.743-902, Fortaleza-CE. <http://www.bnb.gov.br/etene>. E-mail: etene@bnb.gov.br

Aviso Legal: O BNB/ETENE não se responsabiliza por quaisquer atos/decisões tomadas com base nas informações disponibilizadas por suas publicações e projeções. Desse modo, todas as consequências ou responsabilidades pelo uso de quaisquer dados ou análises desta publicação são assumidas exclusivamente pelo usuário, eximindo o BNB de todas as ações decorrentes do uso deste material. O acesso a essas informações implica a total aceitação deste termo de responsabilidade. É permitida a reprodução das matérias, desde que seja citada a fonte. SAC 0800 728 3030; Ouvidoria 0800 033 3030; bancodonordeste.gov.br

1 INTRODUÇÃO

O mundo inteiro busca por soluções que levem à descarbonização da economia, visando à redução dos gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, principal causador das mudanças climáticas, que ameaçam a humanidade com catástrofes de grandes proporções. Nesse sentido, o Acordo de Paris, celebrado em 2015, representa um marco importante, uma vez que estabeleceu como meta limitar o aquecimento global abaixo de 2 °C, preferencialmente 1,5 °C, até o fim do século.

Visando conter o aquecimento global e, dessa forma, viabilizar um futuro sustentável para o planeta, é necessário diminuir as emissões de gases de efeito estufa, particularmente o CO₂, de forma expressiva. Para tanto, faz-se necessário substituir os combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia. Um dos caminhos para viabilizar essa transição energética, com o intuito de alcançar uma economia de baixo carbono é através do uso do hidrogênio (H₂) em processos industriais e como combustível alternativo aos derivados de fontes fósseis.

Nesse sentido, tem sido cada vez mais defendido nos fóruns sobre a questão climática que o hidrogênio verde – assim chamado quando produzido a partir de fontes renováveis – constitui uma das alternativas mais promissoras para descarbonizar a economia. Todavia, alcançar esse objetivo representa um enorme desafio, sobretudo, por questões de economicidade, já que produzir hidrogênio verde ainda é relativamente caro se comparado a outras formas utilizadas para a sua obtenção. Por isso, para viabilizar a transição energética, serão necessários: avanços tecnológicos na produção, no uso, no transporte e no armazenamento do H₂; a definição de marcos regulatórios adequados nos países produtores e consumidores e a adoção de políticas e estratégias econômicas, que viabilizem e estimulem a criação de novas cadeias de produção baseadas em hidrogênio verde. Desse modo, uma vez que se materialize, essa nova indústria constituirá uma enorme janela de oportunidades que se abre, podendo beneficiar regiões que possuem elevado potencial para a produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis, a exemplo do Nordeste brasileiro.

O mercado do hidrogênio verde que se descortina é gigantesco. De acordo com cálculos do *Hydrogen Council*¹, espera-se que o tamanho do mercado de hidrogênio verde seja responsável por cerca de 20% de toda a demanda de energia no mundo até 2050. Como resultado, o tamanho do mercado de hidrogênio verde é estimado em US\$ 2,5 trilhões em 2050, o que corresponde à metade do tamanho do mercado atual de petróleo (ALVARENGA, 2021). Isto é, trata-se de uma indústria nascente, que poderá gerar enormes oportunidades de investimentos, tributos, emprego e renda no Brasil e, em particular, no Nordeste brasileiro, em razão de sua competitividade na geração de energia elétrica a partir das fontes renováveis solar e eólica, insumo utilizado para a produção do hidrogênio verde.

Esta análise setorial tem como objetivo disponibilizar informações sobre a atividade do hidrogênio, em particular, o segmento do hidrogênio verde. É constituída por seis tópicos, incluindo esta introdução. No segundo tópico, são apresentados alguns conceitos relacionados à atividade do hidrogênio. No terceiro, discorre-se sobre a importância do hidrogênio no contexto atual. No quarto tópico, faz-se um breve histórico sobre ações e iniciativas no Brasil em prol do desenvolvimento da Indústria do Hidrogênio. No quinto, aborda-se a evolução e as projeções da produção de hidrogênio no mundo. Por fim, no sexto, destaca-se a situação atual, as perspectivas e os desafios para o fortalecimento do hidrogênio verde.

2 CONCEITOS

O hidrogênio (H) é o elemento mais comum no universo e o quarto elemento mais abundante no planeta Terra. No entanto, ele normalmente está associado a outros elementos químicos, formando moléculas, a exemplo da água (H₂O). Para a obtenção do combustível hidrogênio (H₂), faz-se necessário o uso de tecnologias apropriadas, demandando expressiva quantidade de energia no processo.

¹ Citado por ALVARENGA, Paulo. O Hidrogênio Verde e a transição para uma economia de baixo carbono. In: Revista BrasilAlemanha, ano 29, No 01, outubro de 2021. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/d9/97/d9973c83-a742-4039-9e56-3e1c5dcb795/revistabrazilalemanha.pdf. Acesso em: 29 dez. 2021.

O papel esperado do hidrogênio de baixa emissão na descarbonização de múltiplos setores tem despertado o interesse das principais economias e levado ao desenvolvimento de projetos, iniciativas e estratégias públicas, a fim de promover a sua viabilização. Os recursos naturais de cada país e a definição de metas de descarbonização definirá o tipo de hidrogênio com baixas emissões a ser produzido.

O hidrogênio pode ser produzido por meio de vários processos, associados a diversos tipos de emissões, dependendo da tecnologia e da fonte de energia utilizada, com diferentes implicações de custos e requisitos de materiais. Para a classificação dos tipos de hidrogênio é necessária a definição de alguns conceitos. Nesse sentido, a Comissão Europeia (2020)² definiu os seguintes conceitos utilizados na classificação do hidrogênio, de acordo com a sustentabilidade do seu processo produtivo:

- **Hidrogênio baseado em eletricidade** é o que se refere ao hidrogênio produzido através da eletrólise da água (em um eletrolisador, alimentado por eletricidade), independentemente da fonte de eletricidade. As emissões de gases de efeito estufa, durante todo o ciclo de vida da produção de hidrogênio, com base na eletricidade, dependem de como esta é produzida;
- **Hidrogênio renovável** é o produzido através da eletrólise da água (em um eletrolisador, alimentado por eletricidade), e com a eletricidade proveniente de fontes renováveis. As emissões de gases de efeito estufa do ciclo de vida completo da produção do hidrogênio é praticamente zero. O hidrogênio renovável também pode ser produzido por meio do biogás (ao invés do gás natural) ou da conversão bioquímica da biomassa, desde que em conformidade com os requisitos de sustentabilidade;
- **Hidrogênio limpo** refere-se a hidrogênio renovável;
- **Hidrogênio baseado em fósseis** refere-se ao hidrogênio produzido através de uma variedade de processos, usando combustíveis fósseis como matéria-prima, principalmente, a reforma do gás natural ou a gaseificação do carvão. Isso representa a maior parte do hidrogênio produzido atualmente. As emissões de gases de efeito estufa decorrentes da produção de hidrogênio fóssil são altas;
- **Hidrogênio de base fóssil com captura de carbono** é uma subparte do hidrogênio de base fóssil, em que os gases de efeito estufa emitidos como parte do processo de produção de hidrogênio são capturados. As emissões de gases de efeito estufa da produção de hidrogênio de base fóssil, com captura de carbono ou pirólise, são menores do que para o hidrogênio de combustível fóssil, porém, a eficácia variável da captura de gases de efeito estufa (máximo de 90%) precisa ser levada em consideração;
- **Hidrogênio de baixo teor de carbono** abrange o hidrogênio baseado em fósseis, com captura de carbono e hidrogênio baseado em eletricidade, com emissões de gases de efeito estufa de ciclo de vida significativamente reduzidas em comparação com a produção de hidrogênio existente;
- **Combustíveis sintéticos derivados de hidrogênio** referem-se a uma variedade de combustíveis gasosos e líquidos, com base em hidrogênio e carbono. Para que os combustíveis sintéticos sejam considerados renováveis, a parte do hidrogênio do gás de síntese deve ser renovável. Os combustíveis sintéticos incluem, por exemplo, querosene sintético na aviação, diesel sintético para automóveis e várias moléculas usadas na produção de produtos químicos e fertilizantes. Os combustíveis sintéticos podem estar associados a níveis muito diferentes de emissões de gases de efeito estufa, dependendo da matéria-prima e do processo usado. Em termos de poluição do ar, a queima de combustíveis sintéticos produz níveis semelhantes de emissões de poluentes atmosféricos aos dos combustíveis fósseis.

Nos últimos anos, um código de cores tem sido usado para simplificar a classificação do hidrogênio de acordo com a fonte de energia usada para produzi-lo e, às vezes, também de acordo com o processo de produção. Os tipos de hidrogênio³ mais mencionados nesta classificação, de acordo com a literatura relacionada ao tema, são:

2 In: A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. European Commission, Bruxelas, 08 jul. 2020. Disponível em: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf. Acesso em: 16 nov. 2021.

3 Outras cores são utilizadas para classificar mais formas de obtenção do hidrogênio. Contudo, foram destacadas aqui apenas as principais.

- **Hidrogênio marrom**, produzido do carvão mineral sem a captura, utilização e sequestro de carbono (CCUS, na sigla em inglês);
- **Hidrogênio cinza**, produzido a partir de combustíveis fósseis, principalmente gás natural, sem CCUS;
- **Hidrogênio azul**, produzido a partir de fontes fósseis, principalmente gás natural, mas com CCUS;
- **Hidrogênio verde (hidrogênio renovável)**, produzido por eletrólise, com eletricidade oriunda de fontes de energia renováveis, tais como solar, eólica, hidráulica, geotérmica, marés, dentre outras.

3 A IMPORTÂNCIA DO HIDROGÊNIO NO CONTEXTO ATUAL

A expressão “economia do hidrogênio” tem sido utilizada para descrever um novo paradigma econômico baseado no hidrogênio como vetor energético e não mais numa economia dependente quase exclusivamente de recursos não-renováveis, como o petróleo e seus derivados (CGEE, 2010).

O hidrogênio pode ser usado como matéria-prima, combustível ou transportador e armazenamento de energia, e tem muitas aplicações possíveis nos setores de indústria, transporte, energia e edifícios. Mais importante ainda, ele não emite CO₂ e quase não causa nenhuma poluição do ar quando usado. Assim, oferece uma solução para descarbonizar processos industriais e em setores econômicos, em que a redução das emissões de carbono é difícil de alcançar.

O hidrogênio verde é apontado como a maior aposta para uma produção industrial mais sustentável. Em meio às discussões cada vez mais frequentes acerca da necessidade de redução das emissões de carbono, cresce a procura por opções viáveis para substituição de combustíveis fósseis. Dentre as possibilidades, um dos elementos que desponta como a principal tendência é o hidrogênio verde (REVISTA BRASILEMANHA, 2021)⁴.

De acordo com Mantovani (2021), o hidrogênio como combustível já é uma realidade em países como Estados Unidos, Rússia, China, França e Alemanha. Outros, como o Japão, estão indo ainda mais longe, e aspiram se tornarem economias de hidrogênio.

Em dezembro de 2020, o Chile deu a largada da América Latina e anunciou a meta de, em duas décadas, figurar entre os três maiores exportadores de hidrogênio verde do planeta, com o produto mais barato entre seus competidores. A Colômbia também quer desenvolver uma indústria do gás, e busca potenciais mercados de exportação. O Brasil entra nessa onda com a vantagem de ter uma costa privilegiada, incidência de sol durante o ano todo e vento em abundância. O país tem um dos menores custos marginais para geração de energias renováveis, e isso é fundamental para o barateamento do processo de eletrólise. Os investimentos anunciados para construção de usinas produtoras de hidrogênio verde no Brasil já somam mais de US\$ 22 bilhões, todos concentrados em portos – Pecém, no Ceará; Suape, em Pernambuco; e Açu, Rio de Janeiro.

Segurança energética e a redução dos impactos ambientais constituem os principais motivadores para a mudança de paradigma do setor energético. A segurança energética é evidenciada uma vez que a possibilidade de obtenção de hidrogênio de várias fontes permite privilegiar as fontes locais de cada país, diminuindo ou evitando a importação de energia. Os impactos ambientais diminuem, já que a utilização do hidrogênio para geração de energia elétrica através de célula a combustível não produz gás de efeito estufa, gerando apenas água como subproduto. As emissões também são significativamente reduzidas na queima do hidrogênio em motores de combustão interna ou queimadores para a geração de calor (CGEE, 2010).

De acordo com a IEA (2019), as tecnologias já disponíveis hoje permitem que o hidrogênio produza, armazene, mova e use energia de maneiras diferentes. Uma grande variedade de combustíveis é capaz de produzir hidrogênio, incluindo energias renováveis, nuclear, gás natural, carvão e petróleo. Pode ser transportado como um gás por gasodutos ou na forma líquida por navios, assim como o gás natural liquefeito (GNL). Pode ser transformado em eletricidade e metano para abastecer residências e alimentar a indústria, e em combustíveis para carros, caminhões, navios e aviões. Assim, o hidrogênio pode ajudar a enfrentar vários desafios energéticos críticos, oferecendo maneiras de descarbonizar uma gama de setores – incluindo transporte de longa distância, produtos químicos e ferro e aço –, em

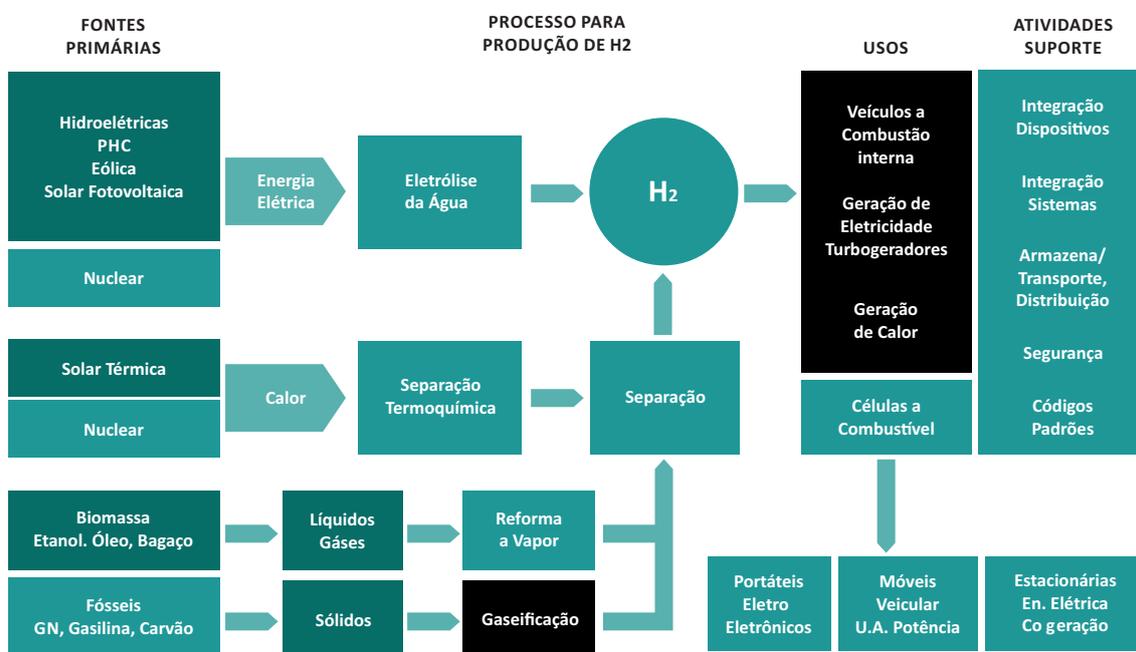
4 Artigo ABC do hidrogênio Verde, publicado na Revista Brasil-Alemanha, outubro de 2021. Disponível em: <https://www.ahkbrasilien.com.br/publicacoes/revista-brasilalemanha>. Acesso em: 17 dez. 2021.

que está provado ser difícil reduzir as emissões de forma significativa. Também pode ajudar a melhorar a qualidade do ar e fortalecer a segurança energética. Fato é que,

No Brasil, cujos recursos naturais renováveis são abundantes e a matriz energética possui elevada participação de fontes energéticas renováveis, o desenvolvimento de tecnologias para a economia do hidrogênio certamente contribuirá para uma utilização mais eficiente dessas fontes energéticas, além de possibilitar uma participação importante no mercado mundial de equipamentos e serviços relacionados às energias renováveis e ao hidrogênio. Dessa forma, o engajamento do País na corrida para a implantação da economia do hidrogênio é altamente estratégico dos pontos de vista econômico, tecnológico e ambiental (CGEE, 2010).

A utilização do hidrogênio como um vetor energético, produzido a partir de biomassas e biocombustíveis (como o etanol), ou utilizando a energia elétrica produzida a partir de fontes renováveis, transformando eletricidade em energia transportável e armazenável, vem sendo avaliada como uma das formas mais eficientes e ambientalmente interessantes, principalmente, quando associada à utilização de células a combustível⁵ para conversão do hidrogênio em energia elétrica. Essa característica do hidrogênio, que é a possibilidade de sua produção através de diversos insumos e processos, colocam-no como um elemento de integração entre diversas tecnologias, como pode ser observado na **Figura 1** (CGEE, 2010).

Figura 1 – Possíveis rotas para produção e utilização do hidrogênio como vetor energético



Fonte: CENEH, citado por CGEE (2010).

Os principais países que demonstram interesse na implantação dessa nova economia são aqueles que apresentam maior demanda energética e, por consequência, os maiores níveis de emissões de gases de efeito estufa. A economia do hidrogênio também é uma solução para a questão de segurança energética causada pela grande dependência energética desses países por combustíveis fósseis importados, além de ser uma alternativa estratégica em países que possuem outras fontes de energia (CGEE, 2010).

⁵ Uma célula combustível é uma célula eletroquímica; basicamente uma bateria em que é consumido um combustível e é liberada energia. É considerada uma bateria em que os reagentes são alimentados continuamente. Os reagentes típicos são o hidrogênio e o oxigênio. O hidrogênio é fornecido do lado do anodo e o oxigênio do lado do catodo.

4 HISTÓRICO DO HIDROGÊNIO NO BRASIL⁶

No Brasil, um dos primeiros passos importantes na temática do hidrogênio consistiu na criação do Centro Nacional de Referência em Energia do Hidrogênio (CENEH), em 1998. Em seguida, no ano de 2002, foi instituído pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) o Programa Brasileiro de Células a Combustível (ProCac), tendo como objetivo “organizar e promover ações de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, por intermédio de projetos associados entre entidades de pesquisa e a iniciativa privada”. Posteriormente, em 2005, esse Programa passou por reformulação, recebendo o nome de “Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio” (ProH2).

Em 2003, o país tornou-se membro da Parceria Internacional para Hidrogênio e Células a Combustível na Economia – IPHE (*International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy*), visando trocar informações governamentais, industriais e acadêmicas no assunto de células a combustível e o hidrogênio na sociedade.

Em 2005, foi publicado pelo Ministério de Minas e Energia o “Roteiro para a Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil”, com metas ao longo de 20 anos, apontando: i) a importância das diferentes rotas tecnológicas nas quais o Brasil pudesse ter vantagens competitivas; ii) o papel do gás natural na transição até o predomínio do hidrogênio verde; iii) a difusão nos mercados de geração distribuída, regiões isoladas e ônibus urbanos.

Em 2010, a publicação do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) denominada “Hidrogênio energético no Brasil: Subsídios para políticas de competitividade: 2010-2025” expôs recomendações para o incentivo à economia do hidrogênio, com a inclusão de ministérios (MCTI, MME e MMA, por exemplo), agências governamentais (Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, CNPq, Finep, BNDES e Inmetro, por exemplo) e instituições de pesquisa (Cepel, CPqD, INT e Lactec, por exemplo) para ações de curto (0 a 5 anos), médio (5 a 10 anos) e longo prazo (10 a 15 anos).

Em 2012, no Workshop Internacional sobre Hidrogênio e Células a Combustível (WICaC), uma apresentação do MCTI mostrou algumas questões importantes após dez anos de investimentos em projetos: i) uma “euforia” no início dos anos 2000, que perdurou até 2008; ii) após esse período, uma desaceleração de investimentos.

Em 2017, foi criada a Associação Brasileira do Hidrogênio (ABH2), iniciativa para organizar melhor as ações e recursos (públicos e privados), gerando bons resultados com uma ação coordenada junto ao MCTI, MEC, MME, ANEEL, ANP e Eletrobras, entre outros órgãos do Governo Federal.

Em 2018, conforme explicitado no Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias Renováveis e Biocombustíveis, o “uso de energias renováveis no Brasil representa uma oportunidade para a produção de hidrogênio por eletrólise quando houver excesso de oferta de energia elétrica de origem intermitente. O hidrogênio possibilita o armazenamento eficiente de energia por longos períodos e pode ser utilizado para mobilidade e geração distribuída de energia.

Em 2020, o Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050) apontou o hidrogênio como uma tecnologia disruptiva e como elemento de interesse no contexto da descarbonização da matriz energética, elencando diversos usos e aplicações, além de trazer recomendações para a política energética, entre as quais se podem destacar o adequado desenho do arcabouço jurídico-regulatório, que incentive a entrada de tecnologias aplicáveis à cadeia energética do hidrogênio como um todo (produção, transporte, armazenamento e consumo). Soma-se, ainda, a necessidade de trabalhar de forma articulada e coordenada com instituições internacionais. Nesse sentido, o MME indicou à EPE o interesse no desenvolvimento de novo roteiro para o desenvolvimento das tecnologias energéticas relacionadas ao hidrogênio.

Em 2021, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) publicou as “Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio”, abordando o panorama do mercado, rotas tecnológicas, custos, desa-

⁶ Este tópico teve por base principal a publicação: Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2): Propostas e Diretrizes (julho de 2021). Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-apresenta-ao-cnpe-proposta-de-diretrizes-para-o-programa-nacional-do-hidrogenio-pnh2/HidrogenioRelatiodiretrizes.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2021.

fios, o papel do hidrogênio na transição energética e, por fim, as implicações para políticas públicas. Tal documento buscou consolidar aspectos conceituais e fundamentais para subsidiar a construção da estratégia brasileira de hidrogênio, destacando a importância de o “país aproveitar ao máximo suas vantagens competitivas existentes e construir novas vantagens competitivas em benefício de sua sociedade.” Também foi desenvolvido pelo MME, no âmbito do Parceria Energética Brasil-Alemanha, o estudo “Mapeamento do Setor de Hidrogênio Brasileiro: Panorama Atual e Potenciais para o Hidrogênio Verde”⁷, o qual ofereceu um panorama da indústria e dos principais atores acadêmicos e institucionais atuantes no Brasil na área de hidrogênio, bem como uma visão geral sobre as principais tecnologias de aplicação de hidrogênio e *Power-to-X*⁸, e o seu estado de maturidade no Brasil em comparação aos países líderes nessas tecnologias. O estudo também traz os resultados de ampla pesquisa de opinião, com mais de 100 atores identificados sobre suas impressões e expectativas sobre um mercado de hidrogênio no país.

Em 2021, diversos eventos (workshops, seminários e conferências) têm ocorrido, envolvendo governos, academia, indústria e agentes de mercado, os quais têm debatido questões relacionadas à importância de um programa nacional do hidrogênio, ao hidrogênio verde, ao hidrogênio para América Latina e Caribe e a HUBs de hidrogênio, dentre outras temáticas relacionadas à estruturação de um novo mercado. Desse modo, tem-se observado que o Brasil está abordando o assunto do hidrogênio em nível nacional, contando com o envolvimento de diversos atores da sociedade.

Nesse movimento, o Conselho Nacional de Política Econômica (CNPE) publicou, em 2021, duas resoluções com implicações positivas para o desenvolvimento do hidrogênio no país. A primeira delas, a Resolução CNPE nº 2 de 2021, orienta a priorização da destinação de recursos de pesquisa, desenvolvimento e inovação regulados pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL e pela Agência Nacional de Petróleo Gás Natural e Biocombustível - ANP para o hidrogênio, entre outros temas relacionados ao setor de energia e à transição energética. Já a segunda, a Resolução CNPE nº 6 de 2021, trata de determinação para a proposição de diretrizes para o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2), já mencionado anteriormente.

Ainda durante o ano de 2021, o Brasil co-lidera o Diálogo de Alto Nível das Nações Unidas sobre Energia, havendo apresentado pacto energético sobre hidrogênio. Os pactos energéticos são compromissos voluntários, que visam acelerar o cumprimento das metas do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7 (ODS 7), que trata do acesso universal a energias limpas. O pacto energético sobre hidrogênio tem por objetivo fomentar o desenvolvimento da indústria e mercado do hidrogênio no país por meio de consolidação de uma base de conhecimento sobre esse vetor energético no Brasil, com base em três pilares: i) políticas de pesquisa, desenvolvimento e inovação; ii) capacitação e treinamento; iii) criação de uma plataforma para consolidação e disseminação de informações sobre hidrogênio no país.

Dentre as iniciativas em prol do desenvolvimento da cadeia produtiva do hidrogênio no Brasil, cabe destacar a criação pelo Governo do Estado do Ceará do primeiro HUB de Hidrogênio Verde do país, em 19 de fevereiro de 2021. Essa iniciativa foi seguida pelos estados de Pernambuco, Rio de Janeiro, Bahia e Minas Gerais, que também anunciaram a criação de HUBs de hidrogênio verde, dando visibilidade às potencialidades desses estados, possibilitando a atração de investimentos.

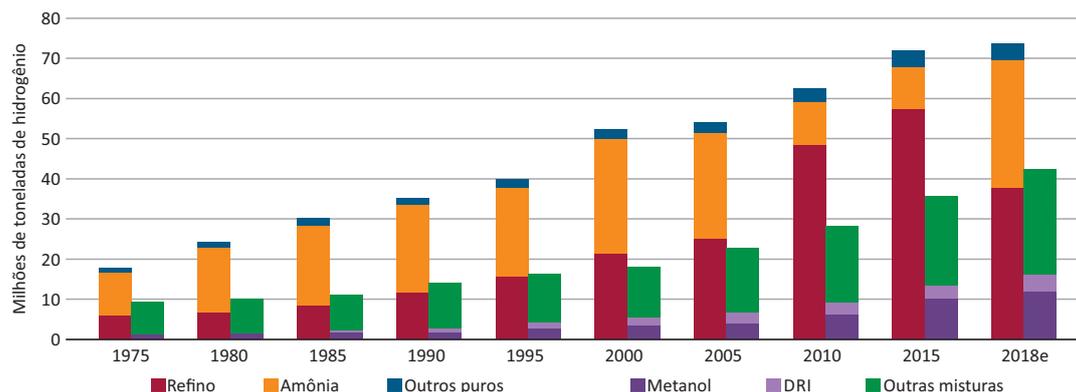
5 EVOLUÇÃO E PROJEÇÕES DA PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO NO MUNDO

Em 2018, cerca de 75 milhões de toneladas de hidrogênio eram usados na forma pura. Além disso, em torno de 40 milhões de toneladas eram utilizados na indústria sem prévia separação de outros gases (**Gráfico 1**).

7 Disponível em: https://www.energypartnership.com.br/fileadmin/user_upload/brazil/media_elements/Mapeamento_H2_-_Diagramado_-_V2h.pdf. Acesso em: 29 dez. 2021.

8 Power-to-X: diferentes caminhos de conversão, armazenamento e reconversão de eletricidade que usam hidrogênio como vetor para produção de combustíveis gasosos, líquidos ou sólidos.

Gráfico 1 – Evolução da demanda anual global de hidrogênio

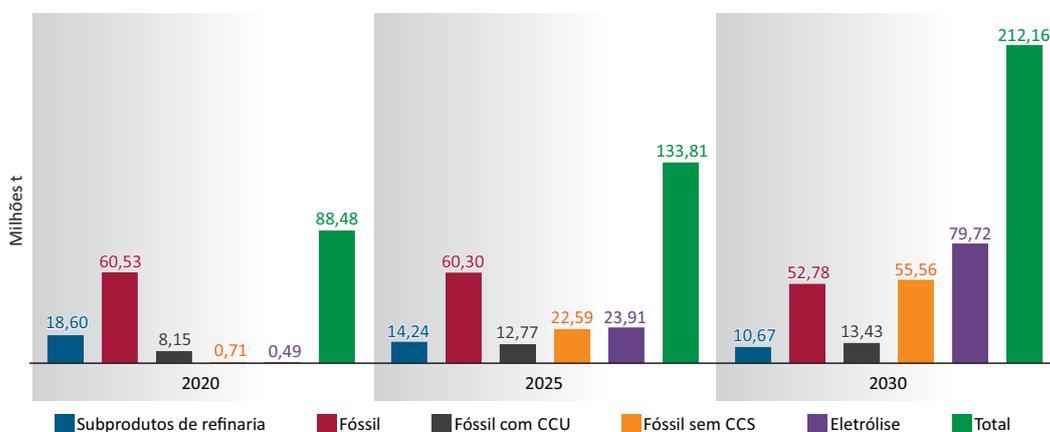


Fonte: Adaptado de IEA (2019).

Notas: DRI = redução direta da produção de aço de ferro. Refino, amônia e “outros puros” representam a demanda para aplicações específicas, que requerem hidrogênio com apenas pequenos níveis de aditivos ou contaminantes tolerados. Metanol, DRI e “outra mistura” representam demanda por aplicações, que usam hidrogênio como parte de uma mistura de gases, como gás de síntese, como combustível ou matéria-prima.

De acordo com a IEA (2021), a demanda de hidrogênio em 2020 foi de aproximadamente 90 Mt, com mais de 70 Mt usados como hidrogênio puro e menos de 20 Mt misturados, com gases contendo carbono na produção de metanol e fabricação de aço. Quase toda essa demanda era para refino e usos industriais. Atualmente, o hidrogênio é produzido principalmente a partir de combustíveis fósseis, resultando em cerca de 900 Mt de emissões de CO₂ por ano. A produção do hidrogênio oriundo de eletrólise ainda é incipiente, tendo sido de apenas 0,49 milhão de toneladas em 2020, representando menos de 1% do total do hidrogênio produzido. Contudo, essa realidade tende a mudar nos próximos anos, prevendo-se a produção de hidrogênio a partir da eletrólise alcançar a liderança até 2030 (**Gráfico 2**).

Gráfico 2 – Demanda global de hidrogênio por tecnologia de produção, 2020-2030



Fonte: Adaptado de IEA (2021).

Notas: CCS = captura e armazenamento de carbono. CCU = captura e uso de carbono. O hidrogênio produzido a partir de combustíveis fósseis com CCU se refere à produção de amônia na qual o CO₂ capturado é usado para produzir fertilizante de ureia. Quando o fertilizante de ureia é aplicado ao solo, ele se decompõe novamente em amônia e CO₂, sendo este último liberado na atmosfera.

O futuro para o hidrogênio demonstra ser muito promissor. De acordo com a IEA (2021), em 2020, dez governos adotaram estratégias para o hidrogênio: Canadá; Chile; França; Alemanha; Holanda; Noruega; Portugal; Rússia; Espanha; União Europeia (a França já havia adotado um Plano de Implantação de Hidrogênio para a Transição Energética em 2018). Em setembro de 2021, mais quatro estratégias foram adotadas pela República Tcheca, Colômbia, Hungria e Reino Unido e a Noruega divulgou um roteiro para completar sua estratégia adotada em 2020. Além disso, a Polônia e a Itália lançaram estratégias para consulta pública e mais de 20 outros países anunciaram que estão desenvolvendo ativamente as suas.

6 HIDROGÊNIO VERDE: SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS E DESAFIOS⁹

Atualmente, são muitas as ações e mobilizações no sentido de fortalecer a indústria do hidrogênio verde. De acordo com o Portal do Hidrogênio Verde:

- Neste momento, políticas globais estão sendo implementadas para diminuir os custos de produção, distribuição e aplicação do hidrogênio verde. Assim, acredita-se que a necessidade de cumprir as metas de descarbonização pode tornar os eletrolisadores aproximadamente 40% mais baratos até 2030;
- Em 2021, há mais de 200 projetos relacionados ao hidrogênio verde localizados em mais de 30 países;
- Em 2020, a maior parte dos projetos (85%) estavam na Europa, Ásia e Austrália;
- Neste ano de 2021, o *Hydrogen Council*¹⁰ (Conselho do Hidrogênio) é formado por 109 empresas globais, com capital somado de US\$ 6,8 trilhões;
- Países como a Alemanha, Coreia do Sul, Japão, China, França, EUA e Reino Unido lideram o setor em termos de investimentos e inovação.

As perspectivas para o hidrogênio verde são muito promissoras. Conforme destaca o Portal do Hidrogênio Verde:

- Até 2030, a produção anual será de 90 GW no mundo;
- Até 2030, a produção anual de energia a partir da eletrólise na Europa passará de 0,1 GW para 40 GW anuais;
- Até 2030 serão investidos 430 bilhões de euros em toda cadeia produtiva do hidrogênio verde na Europa;
- O investimento privado no setor aumentará em seis vezes, até 2015, e 16 vezes até 2030.

Para o ano de 2022, está previsto o lançamento pela Alemanha de um leilão para compra de hidrogênio verde, visando estimular o desenvolvimento do setor em países com os quais o país germânico tem parcerias. O Brasil é um dos candidatos elegíveis para disputar os recursos desse leilão.

Particularmente para o Ceará, pioneiro nas ações para consolidação de um HUB de hidrogênio verde no Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), conforme já referido, já foram assinados diversos protocolos de intenção entre o Governo do Estado e *players* internacionais e nacionais interessados em investir na cadeia produtiva do hidrogênio. Conforme destaca Jurandir Picanço (2021)¹¹, já foram anunciados nesse estado os seguintes projetos:

White Martins/Linde	<ul style="list-style-type: none"> • A White Martins é uma empresa do grupo Linde desde 2019. • Aproveita a sinergia da planta de gases da White Martins já existente na Zona de Processamento de Exportação (ZPE). • Objetiva desenvolver projeto da cadeia produtiva do hidrogênio verde, incluindo a intenção de participação em pool de armazenamento de amônia e de utilidades.
Fortescue	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto Brasil 2025: 2GW: 300.000 ton/ano de eletrólise de hidrogênio verde. • Investimento total de USD 6 bilhões.
Qair Brasil	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto Liberdade: 2,24GW: 296.000 ton/ano de eletrólise de hidrogênio verde. • Complexo Eólico Offshore Dragão do Mar: 1,22GW. • Investimentos de US\$ 3,95 bilhões em H2V e de US\$ 3 bilhões na eólica <i>offshore</i>.

⁹ Salvo quando indicada a fonte, este tópico teve como base conteúdo divulgado no Portal do Hidrogênio Verde, disponível em: <https://www.h2verdebrasil.com.br>. Acesso em: 28 dez. 2021. Ressalta-se que o Portal de Hidrogênio Verde é uma plataforma on-line, cujo principal apoiador é a Parceria Brasil-Alemanha – Tecnologias de Armazenamento Energético da GIZ, por mandato do Ministério de Desenvolvimento e Cooperação Econômica da Alemanha (BMZ) em parceria com o Ministério de Minas e Energia. O portal reúne notícias e estudos recentes sobre o assunto, além de oferecer um espaço de reunião para as partes interessadas.

¹⁰ Quando foi criado, em 17 de janeiro de 2017, em Davos, na Suíça, o grupo era composto por apenas 13 parceiros oriundos dos setores industrial e de energia.

¹¹ Apresentação proferida em 26 de outubro de 2021 para o Banco do Nordeste.

EDP Energias do Brasil	<ul style="list-style-type: none"> • Projeto Piloto da 1ª usina hidrogênio do Brasil (Operação em 2022). • Capacidade: 3 MW usina solar; 250 Nm³/h de produção de H₂V. • Investimento de R\$ 41,9 milhões.
Diferencial Energia	<ul style="list-style-type: none"> • Opera no setor elétrico brasileiro na comercialização de energia, projetos de geração e consultoria. • Intenção de participação em pool de armazenamento de amônia e de utilidades a ser desenvolvido e implantado no HUB do Pecém.
H2Helium	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvedores de projetos de Blue/Green H₂/NH₃. • Objetiva desenvolver projeto da cadeia produtiva do hidrogênio verde, incluindo a possibilidade de estudar a participação em <i>pool</i> de armazenamento de amônia e de utilidades.
Hytron	<ul style="list-style-type: none"> • Comercializa e projeta soluções inovadoras para produção de hidrogênio. • Objetiva desenvolver e buscar a viabilidade de um Projeto Piloto para produção de Hidrogênio Verde de até 5 MW, que será localizado no Porto do Pecém.
Eneva	<ul style="list-style-type: none"> • A maior operadora privada de gás natural do país. Tem parque térmico de 2,8 GW de capacidade contratada. • Objetiva desenvolver projeto da cadeia produtiva do hidrogênio verde, incluindo a intenção de participação em <i>pool</i> de armazenamento de amônia e de utilidades.

De acordo com o Portal do Hidrogênio Verde, apesar do potencial do H₂ Verde para substituir fontes de energia não-renováveis em curto, médio e longo prazo, há desafios relacionados a preço, transportes, distribuição e armazenamento, que ainda precisam ser superados para a aplicação da tecnologia do H₂ Verde, dentre os quais podem ser destacados:

a. Desafios relacionados ao preço

- Atualmente, o hidrogênio verde é de duas a três vezes mais caro do que o hidrogênio azul;
- Estima-se que os custos de produção do hidrogênio verde podem cair 62%, até 2030, para algo próximo de um patamar entre US\$ 1,4 e US\$ 2,3 por quilo. Se isso ocorrer, a paridade entre o custo do hidrogênio verde e do hidrogênio cinza pode ocorrer entre 2028 e 2034 – com projeções abaixo de US\$ 1 por quilo em 2040.

b. Desafios relacionados à distribuição e ao armazenamento

- Há desafios em relação ao armazenamento do hidrogênio em tanques devido à sua alta volatilidade e inflamabilidade, mas há também opções mais seguras para mantê-lo guardado, como liquefazê-lo, diluí-lo em gás natural ou até agregá-lo à amônia – nesse caso, ele pode ser extraído da amônia no destino;
- Tubulações de gás natural já instaladas podem transmitir o hidrogênio diluído (20% de H₂ e o restante de gás natural) por distâncias que podem superar 5 mil km. O potencial de transmissão energética nessas tubulações é dez vezes maior do que o de uma linha elétrica e a um oitavo do custo.

c. Desafios relacionados aos transportes

- O setor de transportes gera 24% das emissões globais de CO₂ por causa da queima de combustíveis fósseis, como a gasolina e o diesel. Desse montante, 3/4 são emitidos por carros, caminhões, ônibus e motocicletas. Por isso, mais de 20 países estão trabalhando para zerar as vendas de veículos poluentes até 2035;
- A meta da indústria automobilística mundial é ter 4,5 milhões de veículos movidos a bateria limpa rodando até 2030 – China, Japão e Coreia do Sul à frente. Projeta-se, paralelamente, a construção de 10,5 mil postos de abastecimento de hidrogênio para essa nova frota;

- No transporte naval, a amônia verde, sintetizada a partir do hidrogênio verde, pode impulsionar navios de carga, sendo o melhor custo-benefício para a descarbonização do tráfego de contêineres até 2030;
- Para o setor de aviação, o desafio é desenvolver tecnologia capaz de impulsionar aeronaves de pequeno a grande porte com hidrogênio líquido. Outra opção é substituir querosene de aviação por combustíveis sintéticos, à base de hidrogênio verde, que emitem menos carbono.

d. Desafios relacionados à adequação do marco regulatório¹²

- No contexto de descarbonização do sistema de produção e consumo de energia, o hidrogênio poderá ter valor de mercado diferenciado, a depender da sua origem de produção, apesar de nada influenciar tecnicamente na forma de sua utilização. Assim como é realizada no Brasil a distinção regulatória entre energia convencional (proveniente de termelétricas a carvão ou a gás, nuclear e de hidrelétricas de grande porte) e energia incentivada (oriunda de fontes solar, eólica, biomassa e hidrelétricas de menor porte), o mercado deverá caminhar para o incentivo da produção do hidrogênio verde por conter atributos ambientais que possibilitarão o atingimento de metas de sustentabilidade com o consequente pagamento de um preço “prêmio”, de acordo com a origem de produção do hidrogênio. Nesse cenário, o Brasil aparece em destaque no plano mundial, pois um dos desafios da produção em larga escala do hidrogênio verde está em seu custo de produção, que é substancialmente superior se comparado a outros “tipos” de hidrogênio. Portanto, a predominância das fontes renováveis na matriz elétrica brasileira, em especial, solar, eólica, biomassa e hidrelétrica, associada a seus custos decrescentes e uma localização privilegiada do ponto de vista de logística para exportação, faz com que o Brasil tenha um potencial competitivo considerável face a outros players (OLIVA JÚNIOR, 2021);
- A tendência é a utilização pelos governos de políticas públicas de subsídios e incentivos à produção e consumo de hidrogênio verde pelas empresas, como a concessão de benefícios fiscais, reserva temporária de mercado, financiamentos mais favoráveis, entre outros (OLIVA JÚNIOR, 2021);
- Um arcabouço institucional, legal e regulatório adequado ao uso energético do hidrogênio, é condição precedente para que se tenha segurança jurídica para investimentos em larga escala do produto. A regulamentação relacionada ao tema, hoje inexistente no Brasil, deverá tratar, entre outros tópicos, da produção, armazenamento, transporte e tributação de toda cadeia produtiva e comercial do hidrogênio (OLIVA JÚNIOR, 2021);
- Partindo da legislação existente, de acordo com a Lei nº 9.478/1997, se o hidrogênio for obtido a partir de combustíveis fósseis, entraria no escopo da Agência Nacional do Petróleo (ANP), que é o órgão regulador da indústria do petróleo, gás natural, seus derivados e biocombustíveis. Por outro lado, conforme a Lei nº 9.427/96, quando o hidrogênio for produzido a partir de energias renováveis, tais como, solar, eólica, biomassa ou hidrelétrica, o órgão regulador responsável é a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Por fim, em consonância com a Lei nº 9.984/2000, no que tange à água, a agência responsável é a Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA) (OLIVA JÚNIOR, 2021);
- Do ponto de vista tributário, não se vislumbra dificuldades aparentes em sua estruturação legal, pois a tributação do hidrogênio, em tese, deverá caminhar de maneira similar à aplicada no setor de energia em geral, sempre respeitando as peculiaridades dessa tecnologia. Isso posto, estamos em um momento-chave no processo de transição energética mundial e, apesar dos desafios de custo, armazenamento, logística e regulatório, o hidrogênio, em especial, o verde, possui todas as condições para ser o vetor dessa mudança (OLIVA JÚNIOR, 2021).

¹² Baseado no artigo Hidrogênio Verde, Perspectivas e Regulamentação no Brasil, de José Roberto Oliva Júnior, publicado na Revista BrasilAlemanha, edição outubro de 2021. Disponível em: <https://www.ahkbrasiliens.com.br/publicacoes/revista-brasilalemanha>. Acesso em 28 dez. 2021.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, Paulo. O Hidrogênio Verde e a transição para uma economia de baixo carbono. In: **Revista BrasilAlemanha**, ano 29, Nº 01, outubro de 2021. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/d9/97/d9973c83-a742-4039-9e56-3e1c5dcba795/revistabrasilalemanha.pdf. Acesso em: 29 dez. 2021.

CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Hidrogênio energético no Brasil: subsídios para políticas de competitividade, 2010-2025**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), 2010. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Hidrogenio_energetico_completo_22102010_9561.pdf/367532ec-43ca-4b4f-8162-acf8e5ad25dc?version=1.5. Acesso em: 17 dez. 2021.

EUROPEAN COMMISSION. **A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe**. Bruxelas, 08 jul. 2020. Disponível em: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf. Acesso em: 16 nov. 2021.

IEA. **The Future of Hydrogen**. Report prepared by the IEA for the G20, Japan.

Seizing today's opportunities. Junho de 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>. Acesso em: 17 dez. 2021.

IEA. **Hydrogen: more efforts needed**. Paris, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/hydrogen>. Acesso em: 29 dez. 2021.

MANTOVANI, Paulo. **Hidrogênio verde: Brasil abre as portas para a energia do futuro**. Artigo. Disponível em: <https://www.revistacobertura.com.br/noticias/artigos/hidrogenio-verde-brasil-abre-as-portas-para-a-energia-do-futuro/>. Acesso em: 29 dez. 2021.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Programa nacional do hidrogênio (PNH2): propostas e diretrizes**. Julho de 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-apresenta-ao-cnpe-proposta-de-diretrizes-para-o-programa-nacional-do-hidrogenio-pnh2/HidrogenioRelatriodiretrizes.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2021.

OLIVA JÚNIOR, José Roberto. Hidrogênio Verde, Perspectivas e Regulamentação no Brasil. Artigo. In: **Revista BrasilAlemanha**, edição outubro de 2021. Disponível em: <https://www.ahkbrasilen.com.br/publicacoes/revista-brasilalemanha>. Acesso em 28 dez. 2021.

PICANÇO, Jurandir. **Apresentação proferida em 26 de outubro de 2021 para o Banco do Nordeste**.

PORTAL DO HIDROGÊNIO VERDE. **Site**. Disponível em: <https://www.h2verdebrasil.com.br>. Acesso em: 28 dez. 2021.

REVISTA BRASILEMANHA. ABC do hidrogênio Verde. Artigo. In: **Revista BrasilAlemanha**, ano 29, Nº. 01, outubro de 2021. Disponível em: <https://www.ahkbrasilen.com.br/publicacoes/revista-brasilalemanha>. Acesso em: 17 dez. 2021.

TODAS AS EDIÇÕES DO CADERNO SETORIAL DISPONÍVEIS EM:

<https://www.bnb.gov.br/etene/caderno-setorial>

EDIÇÕES RECENTES

AGROPECUÁRIA

- Trigo - 12/2021
- Coco - 12/2021
- Produção de Cacau - 12/2021
- Produção de laranja - 12/2021
- Feijão - 12/2021
- Limões e limas - 11/2021
- Frango - 11/2021
- Carne bovina - 10/2021
- Cajucultura - 10/2021
- Milho - 08/2021
- Hortaliças - 08/2021
- Suína - 07/2021
- Fruticultura - 06/2021
- Carne bovina - 04/2021
- Frango - 06/2021
- Recursos Florestais - 05/2021
- Algodão - 05/2021
- Açúcar - 05/2021
- Arroz - 03/2021
- Silvicultura - 02/2021
- Cacau - 01/2021
- Pescado - 01/2021
- Própolis - 01/2021
- Trigo - 01/2021

INDÚSTRIA

- Couro e calçados - 11/2021
- Indústria da Construção - 10/2021
- Indústria Petroquímica - 09/2021
- Têxtil - 09/2021
- Biocombustíveis - 08/2021
- Vestuário - 08/2021
- Bebidas não alcoólicas - 07/2021
- Setor moveleiro - 07/2021
- Etanol - 04/2021

INFRAESTRUTURA E CONSTRUÇÃO CIVIL

- Energia eólica no Nordeste - 12/2021
- Petróleo e gás natural - 11/2021
- Energia eólica - 07/2021
- Energia solar - 07/2021
- Telecomunicações - 05/2021
- Micro e minigeração distribuída - 02/2021

COMÉRCIO E SERVIÇOS

- Comércio varejista - 12/2021
- Shopping Centers - 11/2021
- Comércio eletrônico - 07/2021
- Turismo - 07/2021
- Pet Food - 06/2021
- Eventos - 06/2021
- Saúde - 05/2021
- Shopping centers - 01/2021

CONHEÇA OUTRAS PUBLICAÇÕES DO ETENE

<https://www.bnb.gov.br/etene>