



FASCÍCULO HIDROGÊNIO VERDE

Por Monica Saraiva Panik*



Capítulo II

O HIDROGÊNIO VERDE E A DESCARBONIZAÇÃO DO PLANETA

30

A EXPECTATIVA DE DESENVOLVIMENTO DO MERCADO DE H2V E SUA IMPORTÂNCIA NA META GLOBAL DE DESCARBONIZAÇÃO

De acordo com a IRENA (Agência Internacional de Energia Renovável – estudo Geopolitics of the Energy Transformation, The Hydrogen Factor 2022), a transição energética em curso não tem precedentes devido a sua escala e ao profundo impacto nas tendências socioeconômicas, tecnológicas e geopolíticas estabelecidas em todo o mundo. As energias renováveis, em combinação com a eficiência energética, agora formam a vanguarda de uma transição energética global de longo alcance. Esta transição não é uma substituição de combustível, e sim uma mudança para um sistema diferente com rupturas políticas, técnicas, ambientais e econômicas.

A década de 2020 pode se tornar a era de uma grande corrida pela liderança em tecnologia, já que os custos provavelmente cairão acentuadamente com a ampliação do conhecimento e da infraestrutura necessária. O hidrogênio verde/renovável se tornará competitivo mais cedo em países como a China (graças aos seus eletrolisadores de baixo custo), ou Brasil e Índia (com energias renováveis baratas e preços de gás relativamente altos). A fabricação de equipamentos para plantas de H2 verde/renovável representa uma excelente oportunidade de mercado nos próximos anos e décadas. A cadeia de valor do hidrogênio é extensa e as estimativas apontam para

um potencial de mercado de US\$ 50 a 60 bilhões para eletrolisadores e um mercado de US\$ 21 a 25 bilhões para células a combustível em meados do século.

A inovação e as tecnologias emergentes podem mudar o cenário atual de manufatura. O hidrogênio pode facilitar o transporte da energia produzida por fontes renováveis em distâncias mais longas por meio de gasodutos e transporte marítimo. Países que tenham a combinação ideal de recursos renováveis abundantes e de baixo custo, espaço para parques solares ou eólicos e acesso à água dessalinizada ou de reuso, podem se tornar produtores de hidrogênio verde/renovável e seus derivados a custos competitivos, e exportar para grandes centros de demanda como a Europa e a Ásia. Novos Hub's de energia podem surgir em países que tradicionalmente não comercializam energia, os quais estão estabelecendo relações bilaterais baseadas em tecnologias e moléculas relacionadas ao hidrogênio. À medida que os laços econômicos entre os países mudam, sua dinâmica política também pode mudar.

O estudo Clean Hydrogen Monitor publicado pela Hydrogen Europe em 2022, faz um excelente panorama sobre o desenvolvimento do mercado de hidrogênio na Europa. De acordo com esse estudo, até agosto de 2022, um total de 27 países publicaram documentos com suas estratégias de hidrogênio, e outros 31 estão em fase de preparação. A Europa continua a liderar, com 16 países adotando

estratégias nacionais para o hidrogênio.

Nos últimos anos, a União Européia publicou o European Green Deal, a Estratégia Europeia de Hidrogênio e o pacote “Fit for 55”, entre outros. Dentro dessas políticas, o hidrogênio é identificado como uma das principais tecnologias para a descarbonização e a segurança energética europeia, como parte do plano REPowerEU publicado em 2022, o qual aumenta significativamente a intensão da Europa de produzir localmente 10 Mt de hidrogênio verde/renovável e importar 10 Mt por ano. Paralelamente, os formuladores de políticas públicas têm trabalhado ativamente para a criação de demanda setorial na indústria e no transporte por meio de atos legislativos como a revisão das diretrizes do Programa de Energia Renovável, o novo ReFuelEU Aviation, o Fuel EU Marítimo, ou o Regulamento de Infraestrutura de Combustível Alternativo. Além disso, estão revisando o programa do gás e definindo regras para produção de hidrogênio verde/renovável e de baixo carbono para desenvolver um ambiente regulatório viável e claro.

[*] Mt (milhões de toneladas)

Mais da metade do consumo total de hidrogênio da União Européia, EFTA e Reino Unido ocorre em apenas quatro países: Alemanha (20%), Holanda (15%), Polônia (9%), e Espanha (7%). Até 2030: a Alemanha tem a maior demanda planejada na indústria, 2.122 kt H2/

ano, totalizando 19% do total de projetos e 38% do consumo total de hidrogênio verde/renovável e de baixo carbono; a Suécia é o segundo maior consumidor com 701 kt H2/ano, seguido por Holanda, França e Espanha com 571 kt H2/ano, 537 kt H2/ano e 523 kt H2/ano, respectivamente. Até 2030, o consumo total planejado de hidrogênio verde/renovável e de baixo carbono nos projetos industriais rastreados é de 6,1 Mt H2/ano, incluindo projetos com data operacional não divulgada. O total de 92,5% dos projetos usará a eletrólise para produção de hidrogênio. Em comparação, 5% dependerão de reforma com captura de carbono, e 2,5% usarão ambos os métodos ou usarão uma tecnologia desconhecida.

A crescente demanda de hidrogênio no mundo se deve às novas aplicações como por exemplo nos setores marítimo, aviação, residencial e comercial, transporte de carga e setores industriais chamados de “hard-to-abate” (difíceis de serem descarbonizados). O setor industrial representa 1/3 do consumo total de energia e 1/4 do total de emissão de CO2. Indústrias de alumínio, química, petroquímica-refinaria, cimento, ferro, aço e papel necessitam de grande quantidade de energia para operar equipamentos como caldeiras, geradores e fornalhas. O hidrogênio verde pode ser produzido na própria planta e utilizado nos processos de produção substituindo matérias primas fósseis para reduzir CO2 em grande escala.

Na indústria de aço, o hidrogênio pode ser usado como agente redutor em 100%, removendo o oxigênio do minério de ferro em novas plantas com a tecnologia de DRI (Direct Reduction Injection) e nos alto-fornos pode se fazer a substituição gradual do carvão no PCI ainda se pode utilizar o hidrogênio para a geração de energia limpa nos fornos elétricos. Na mineração o foco do uso do hidrogênio verde está na redução de custos em relação ao consumo e transporte de diesel, o que pode ser considerável em locais remotos. Um veículo de mineração tem em média de 800 a 1000 kW de potência e, portanto, a produção descentralizada de hidrogênio verde para abastecer esses veículos pode significar uma grande economia, além dos benefícios ambientais.

O setor de transportes mundial é responsável por mais de 25% de toda emissão de CO2 e a tendência para sua descarbonização segue o caminho da eletrificação. No entanto, para que um veículo puramente elétrico seja emissão zero “do poço à roda”, é preciso considerar a fonte de geração da eletricidade. Muita gente pensa que um veículo puramente elétrico é concorrente de um veículo a célula a combustível, mas na verdade ambos são veículos elétricos e a sinergia entre eles promove a redução de custos na produção em escala de componentes. Após 20 anos de desenvolvimento, as montadoras chegaram à conclusão que quanto maior o porte do veículo, maior é a vantagem para os veículos movidos a célula a combustível em autonomia (mesma que um veículo convencional), tempo de abastecimento (de 3 a 5 minutos) e custo. Desta forma, o setor de veículos pesados, principalmente caminhões e trens tem recebido maiores investimentos. Para qualquer tipo de veículo, o hidrogênio no Brasil pode combinar a rota da eletrificação com a de biocombustíveis.

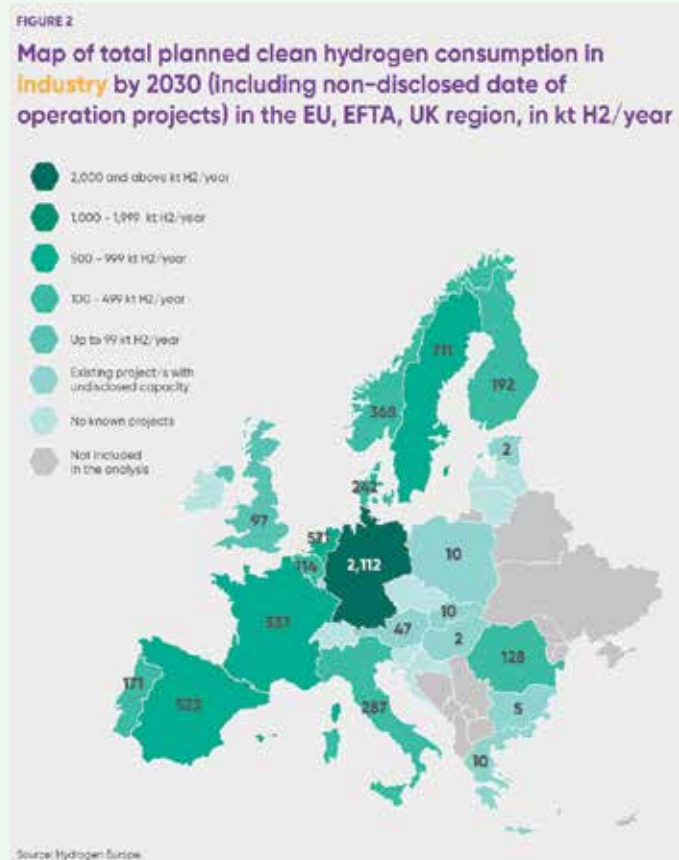


Figura 1 – Mapa da demanda de hidrogênio pela indústria nos países da União Européia, EFTA e Reino Unido em 2030 em kt H2/ano. Fonte: Hydrogen Europe – Estudo “Clean Hydrogen Monitor 2022”.



Através dos processos chamados de "Power to X", o hidrogênio verde pode ser usado também para a produção de combustíveis sintéticos, os chamados E-Combustíveis. O hidrogênio (ou gás de síntese) e o CO2 capturado passam por uma série de processos envolvidos na produção do petróleo sintético e posterior refino em combustíveis, como diesel sintético, gasolina sintética, querosene de aviação e metanol. Além disso, através do processo de síntese Haber-Bosch se produz amônia, um composto de nitrogênio e hidrogênio, usado para fazer ácido nítrico, e então misturado para produzir fertilizantes à base de nitrato. A amônia também pode ser misturada com CO2 líquido para produzir uréia. A produção tradicional de amônia utiliza gás natural ou carvão para produzir hidrogênio, bem como para gerar a energia e, portanto, é uma das indústrias que mais emitem carbono no mundo.

O número de projetos anunciados para produção de hidrogênio verde/renovável continuaram crescendo constantemente em 2022, aumentando de 118 GW no ano passado para 138 GW até 2030. Há também quase 17 GW de projetos anunciados até 2030 para produção de hidrogênio a partir da reforma de gás natural com captura de carbono (hidrogênio azul). Caso todos os projetos sejam implementados, eles somarão 14 Mt de produção anual de hidrogênio de baixo carbono. No entanto, mesmo que o número de projetos esteja crescendo, a data de operação dos mesmos está sendo adiada devido à incerteza regulatória, expectativas de financiamento e incentivos, bem como questões de licenciamento/cadeia de suprimentos.

O crescimento do setor de hidrogênio exigirá a superação de gargalos de produção de equipamentos, sendo um dos mais cruciais, a fabricação de eletrolisadores em escala, calculada em 2022 em mais de 3,3 GW/ano. Essa capacidade deve aumentar 16 vezes, atingindo 53 GW/ano em 2030. No entanto, 79% da capacidade prevista entre 2023-2030 ainda é condicional às decisões finais de investimento. Quanto ao uso final industrial, a previsão é de 6,1 Mt de consumo anual de hidrogênio de baixo carbono até 2030, com mais da metade (53%) no setor siderúrgico, 17% na produção de amônia e 13% para processos de refino.

Conforme identificado pela REPowerEU, a previsão para importações de hidrogênio para a Europa é de 10 Mt de hidrogênio anualmente até 2030. Uma seleção dos maiores projetos que

poderiam potencialmente enviar hidrogênio para a Europa equivale a 5 Mt/ano de hidrogênio verde/renovável até 2030. Também existem memorandos de entendimento assinados para potenciais importações de 2,8 Mt/ano até 2030. Esses projetos e os acordos provavelmente sofreram alterações.

O desenvolvimento da infraestrutura de transmissão, distribuição e armazenamento será fundamental para concretizar os objetivos ambiciosos definidos pelo REPowerEU, tanto para a produção quanto para os usos finais do hidrogênio verde/renovável. A principal iniciativa da indústria é o European Hydrogen Backbone para a implementação de uma futura rede de gasodutos de hidrogênio na Europa, compreendendo 28.000 km de dutos novos e de reaproveitados da rede de gás natural, bem como cinco corredores de importação até 2030: Norte da África & Sul da Europa; Sudoeste da Europa e Norte da África; Mar do Norte; Regiões Nórdicas e Bálticas; Leste e Sudeste da Europa. A Holanda é o Estado-membro mais avançado da UE no comprometimento com o desenvolvimento de sua infraestrutura de hidrogênio.

32

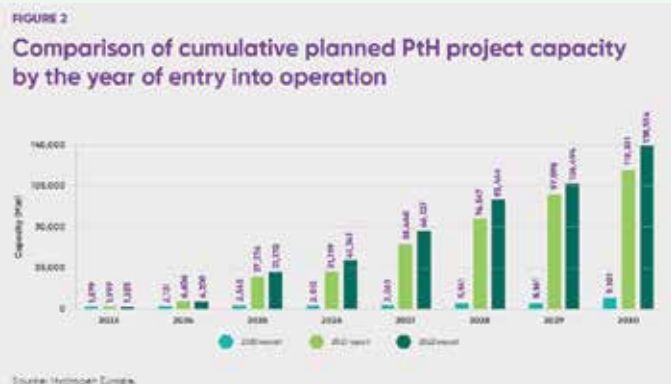


Figura 2 – Capacidade acumulada de eletrólise por ano de entrada em operação de projetos anunciados na Europa até 2030. Fonte: Hydrogen Europe – Estudo "Clean Hydrogen Monitor 2022".

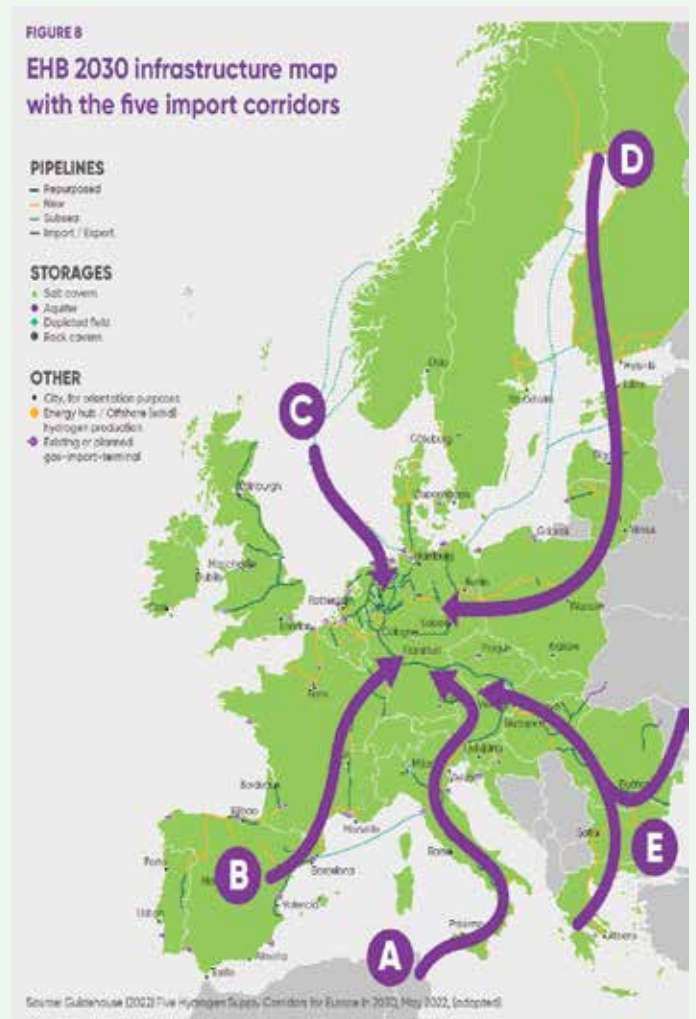
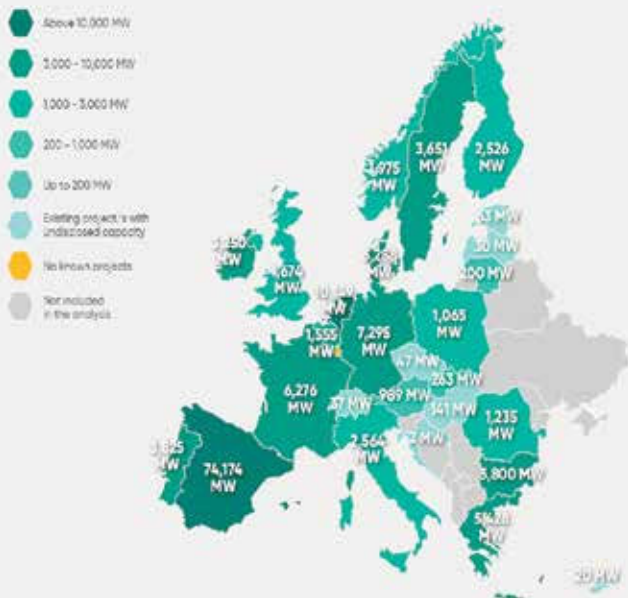


Figura 3 – Mapa dos gasodutos de hidrogênio que serão construídos na Europa até 2030 em cinco corredores de importação. Fonte: Hydrogen Europe – Estudo "Clean Hydrogen Monitor 2022".

FIGURE 9

Map of planned PtH capacity additions by country 2022 - 2030 in MW



Source: Hydrogen Europe

Figura 4 – Mapa da eletricidade renovável a ser adicionada por país de 2022 a 2030 em MW. Fonte: Hydrogen Europe – Estudo “Clean Hydrogen Monitor 2022”.

Os planos para futuros projetos de produção de hidrogênio verde/renovável, diferem de país para país, especialmente em relação à capacidade e número de projetos. A adição mais significativa de eletricidade renovável até 2030 está planejada na Espanha, onde 74.174 MW estão divididos entre 87 projetos. Na Alemanha, 7.295 MW estão divididos entre 82 projetos.

FIGURE 11

Electricity connection of operational PtH projects (MW & # of projects)



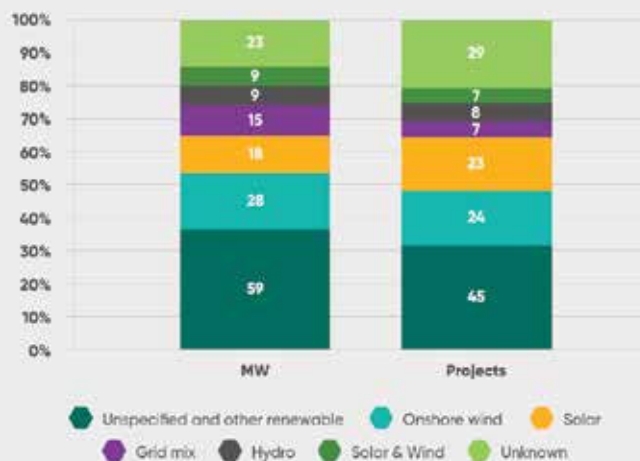
Source: Hydrogen Europe

Figura 5 – Fonte: Hydrogen Europe – Estudo “Clean Hydrogen Monitor 2022”.

A Figura 5 fornece detalhes sobre o tipo de conexão elétrica dos 143 projetos de produção de hidrogênio verde/renovável operacionais. As conexões utilizando a eletricidade da rede predominam, fornecendo 95 MW de capacidade e 59% dos projetos. As conexões diretas a uma fonte de geração de eletricidade representam 39 MW de capacidade e 35% dos projetos. Projetos híbridos (com conexões diretas e de rede) são menos comuns, com 28 MW de capacidade distribuídos em oito projetos.

FIGURE 12

Electricity source of operational electrolyzers (MW & # of projects)



Source: Hydrogen Europe

Figura 6: Fonte: Hydrogen Europe – Estudo “Clean Hydrogen Monitor 2022”.

A Figura 6 fornece detalhes sobre o tipo de fonte de eletricidade dos projetos de produção de hidrogênio verde/renovável operacionais, independentemente de usarem ou não uma conexão direta ou de rede. A energia eólica onshore representa 17% ou 28 MW. No geral, 77% da capacidade e 75% dos projetos são alimentados por fontes renováveis de energia com conexão de rede por meio de um contrato de compra de energia ou conexão dedicada. A intensidade do carbono do hidrogênio depende da intensidade de carbono da rede elétrica, com a qual o eletrolisador está conectado. Por exemplo, uma produção de hidrogênio que utilize o mix médio de eletricidade da União Europeia UE-27 (2020), resulta em 11,5 kgCO₂/kgH₂.

Um aditivo a este relatório envolve a perspectiva sobre matérias-primas críticas, principalmente na capacidade de produção anual de platina e paládio, como dois dos materiais essenciais para a economia do hidrogênio usado em células a combustível e eletrolisadores. A capacidade anual de mineração de platina é de 227 toneladas, com a África do Sul fornecendo 75%, e a capacidade de mineração de paládio é de 305 toneladas, com a Rússia fornecendo 42%. Novas capacidades de mineração devem entrar em operação, mas a capacidade de reciclagem desempenhará um papel significativo a curto e longo prazo.

O financiamento público e o financiamento privado serão essenciais para cumprir os objetivos políticos e as ambições da indústria. A União Europeia tem à sua disposição fundos para apoiar o crescimento



da cadeia de valor do hidrogênio, incluindo pacotes para pesquisa e desenvolvimento, comercialização e a infraestrutura. Além disso, a UE anunciou o lançamento de uma instituição financeira de hidrogênio com um orçamento de 3 bilhões de euros para alavancar o mercado e bancar o prêmio verde. Centenas de bilhões serão necessários até 2030 para financiar a economia do hidrogênio e o investimento privado terá um papel decisivo e importante na viabilização da mesma. O capital investido e o número de negócios estão crescendo rapidamente, mas um envolvimento amplo de várias instituições é importante para compartilhar riscos de forma eficiente. Os investimentos são fundamentais na competição dos países pela liderança no ecossistema do hidrogênio.

O interesse da indústria pelo uso de hidrogênio verde/renovável continuou a aumentar em 2022. 35 MW de energia foi adicionada na rede elétrica para produção de hidrogênio verde/renovável, totalizando 162 MW em operação até agosto de 2022. Parcialmente devido ao grande aumento dos preços do gás natural, estima-se que os custos do hidrogênio cinza subiu em média de 2,65 EUR/kg em 2021 para 10 EUR/kg em agosto de 2022. Como resultado, o hidrogênio verde/renovável já começou a se tornar competitivo. Os custos estimados de produção de hidrogênio verde/renovável na União Européia, Reino Unido e Noruega em 2021 variaram de 3,3 EUR/kg a 6,5 EUR/kg, podendo chegar a 2,2 a 2,9 EUR/kg em locais com maior irradiação solar e condições de vento.

O mapa a seguir mostra os diferentes Custos Nivelados de Hidrogênio (LCOH) a partir de eletrólise conectada à rede elétrica nos diversos países da Europa, Reino Unido e Noruega. Já o mapa abaixo mostra os diferentes Custos Nivelados de Hidrogênio (LCOH) a partir da geração de eletricidade dedicada a partir da fonte renovável mais competitiva nesses países. Comparando os dois mapas, percebe-se que o hidrogênio é mais competitivo, cerca de 30% mais barato, quando se utiliza eletricidade da fonte renovável mais barata de cada país em 2021, ao invés da energia da rede.

A produção de hidrogênio via eletrólise com conexão direta a uma fonte de energia renovável evita custos de eletricidade como taxas de transmissão e impostos. Por outro lado, o fator de capacidade do eletrolisador é limitado pelo fator de capacidade da fonte renovável à qual está conectado. Especialmente no caso de energia solar fotovoltaica (PV) na Europa Central e do Norte, onde o fator de capacidade é muito baixo (apenas cerca de 1.000 horas equivalentes a carga total por ano). Mesmo com fatores de capacidade potencialmente mais baixos, comparado com eletrólise conectada à rede, os custos de eletricidade renovável para produção de hidrogênio, não estão muito longe de ser competitivos na maioria dos países da União Europeia. Considerando a irradiação solar média e as condições de vento nos Estados-Membros da UE, Noruega e Reino Unido, estima-se custos de produção de hidrogênio renovável variam de EUR 3,3 /kg (da energia eólica offshore na Irlanda) para EUR 6,5 /kg (da energia solar PV em Luxemburgo). Nos países do sul da Europa, a fonte mais barata para produção de hidrogênio renovável é a solar fotovoltaica, enquanto para os países do norte da Europa, a mais opção acessível é a energia eólica offshore. Com base nessa análise, os custos de produção de

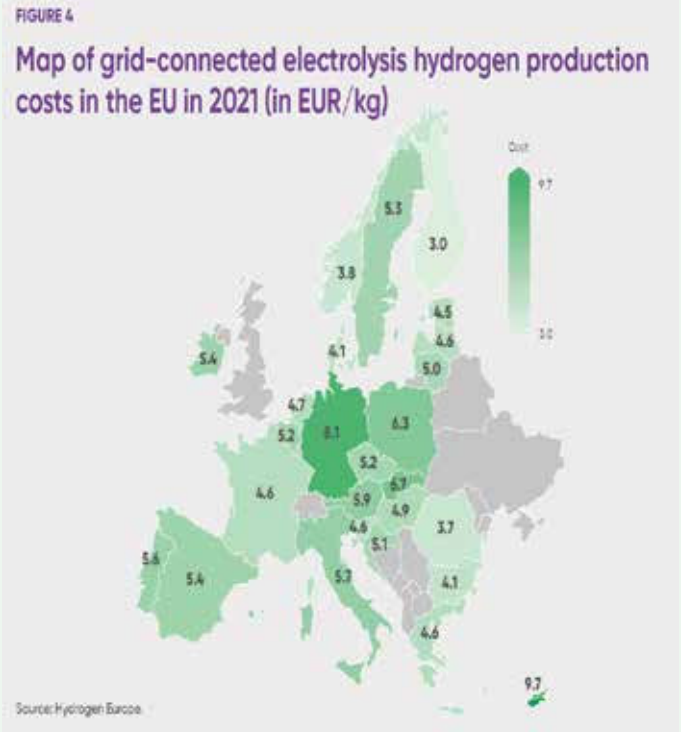


Figura 7: Fonte: Hydrogen Europe – Estudo “Clean Hydrogen Monitor 2022”.

hidrogênio renovável na União Europeia podem custar EUR 2,9 /kg (solar fotovoltaica no Sul da Europa), bem como EUR 2,2 /kg em países com boas condições de vento (principalmente no norte da Europa).

O Porto de Roterdã, em parceria com a indústria, os órgãos públicos e autoridades estatais, prevêem que serão capazes de abastecer a Europa com pelo menos 4,6 milhões de toneladas de hidrogênio por ano até 2030, sendo que quatro milhões serão importados. Uma grande parte do hidrogênio será transportada por navios na forma de amônia, metanol, LOHC ou hidrogênio líquido para processamento ou transporte em outros países. Nos últimos dois anos o porto de Roterdã assinou Memorandos de Entendimentos com diversos países como: Canadá, Noruega, Escócia, Islândia, Portugal, Espanha, Marrocos, Maurítãnia, África do Sul, Namíbia, Arábia Saudita, Abu Dhabi, Omã, Austrália, Chile, Colômbia, Brasil, Argentina e Uruguai.

Os países da América Latina e Caribe podem dividir a demanda da Europa e Reino Unido com a produção doméstica europeia e com outras regiões, como Norte da África, Austrália Ucrânia e Oriente Médio. O Brasil, tem grandes vantagens competitivas devido ao tamanho continental, inúmeras fontes para produção de hidrogênio verde (solar, eólica onshore e offshore, hidroelétrica e biomassa), matriz elétrica renovável (92% em 2022), setor elétrico consolidado, mercado livre a custos competitivos e grande infraestrutura de transmissão. A Bloomberg NEF estima que o Brasil pode produzir o hidrogênio verde/renovável mais competitivo do mundo, entre US\$ 2,0 e 3,8/Kg em 2022 US\$ 0,55/Kg em 2050, a partir de energia eólica. A região Nordeste concentra 85,8% da geração de eólica e 67,2% da energia solar fotovoltaica do Brasil e os fatores de capacidade eólico e solar é

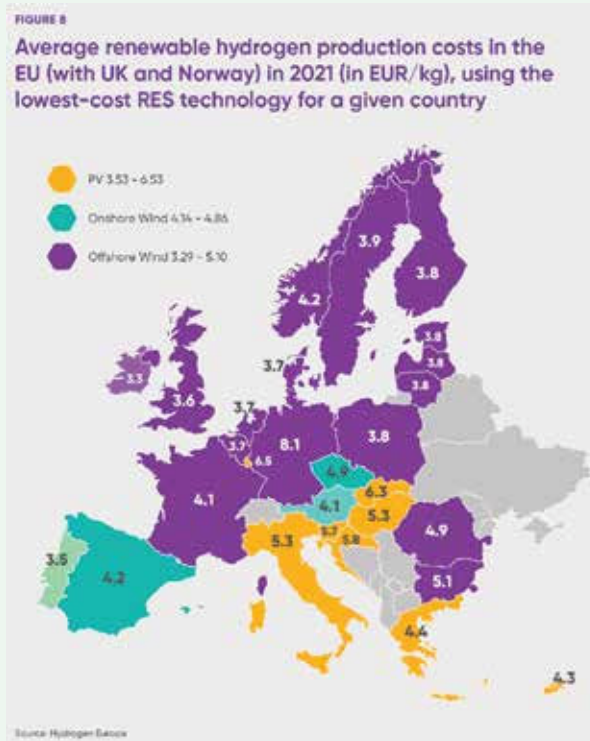


Figura 8 – Fonte: Hydrogen Europe – Estudo “Clean Hydrogen Monitor 2022”.

superior a muitas regiões no mundo.

O Ceará, deseja ser um player global na produção, uso e exportação de hidrogênio verde e seus derivados, referência na cadeia de valor e recursos humanos, contribuindo para uma transição energética sustentável e justa. O Estado conta com um imenso potencial de energia eólica e solar, complementariedade diária solar eólica em várias regiões, proximidade com a Europa (4.016 milhas náuticas até o Porto de Roterdã), Complexo Portuário e Industrial do Pecém, zona de processamento de exportação, parceria com o Porto de Roterdã (acionista em 30%), grande apoio ao setor do hidrogênio verde por parte das instituições públicas e privadas e um grupo de trabalho composto pelo Governo do Estado, pela Federação das Indústrias (FIEC), pela Universidade Federal (UFC) e pelo Complexo do Pecém (CIPP). O Ceará anunciou em fevereiro de 2021 o primeiro Hub de hidrogênio verde do Brasil e desde então recebeu mais de US\$ 20 bilhões de investimentos anunciados.

De acordo com o estudo da IRENA “WORLD ENERGY TRANSITIONS OUTLOOK 2022 - 1.5°C Pathway” (março 2022), a aceleração da transição energética é essencial e uma ampla mudança na geração e uso de energia, tornaria os países menos dependentes de importações de combustíveis fósseis. Esse caminho também geraria empregos, reduziria a pobreza e promoveria uma economia global inclusiva e segura para o clima.

Fontes:

<https://www.irena.org/publications/2022/Jan/Geopolitics-of-the-Energy-Transformation-Hydrogen>

<https://hydrogeneurope.eu/clean-hydrogen-monitor2022/>

<https://www.irena.org/publications/2022/mar/world-energy-transitions-outlook-2022>

*Mônica Saraiva Panik é diretora de Relações Internacionais da Associação Brasileira de Hidrogênio, consultora internacional da Federação das Indústrias do Estado do Ceará (Fiec), especialista em tecnologias de hidrogênio e células de combustível, introdução de novas tecnologias em mercados em crescimento, gerenciamento de projetos e desenvolvimento de negócios, atividades de marketing, desenvolvimento de rede global, desenvolvimento de mercado e lançamento de produtos.

As melhores soluções em materiais elétricos de média tensão a Exponencial disponibiliza para o mercado.



- ✗ Luminárias públicas LED;
- ✗ Cabos de cobre nu, flexíveis e isolados;
- ✗ Preformados;
- ✗ Cabos de alumínio nu, multiplexados, protegidos e isolados;
- ✗ Isoladores, chaves, para-raios, cruzetas, dutos corrugados;
- ✗ Rede de distribuição aérea e subterrânea.

(31) 3317-5150

Rua Titânio 153 - Camargos - BH/MG
vendas@exponencialmg.com.br

exponencialmg

www.exponencialmg.com.br

Produtor Homologados CEMIG

Compre com seu cartão
BNDES